Poligonalno tokarenje - CAM programiranje

Čovran, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:190:210337

Rights / Prava: Attribution 4.0 International/Imenovanje 4.0 međunarodna

Download date / Datum preuzimanja: **2024-05-24**

Repository / Repozitorij:

Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

POLIGONALNO TOKARENJE - CAM PROGRAMIRANJE

Rijeka, srpanj 2023.

Karlo Čovran

0035216423

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

POLIGONALNO TOKARENJE - CAM PROGRAMIRANJE

Mentor: prof. dr. sc. Zoran Jurković

Komentor: prof. dr. sc. Mladen Perinić

Rijeka, srpanj 2023.

Karlo Čovran

0035216423

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
POVJERENSTVO ZA ZAVRŠNE ISPITE

Rijeka, 7. ožujka 2023.

Zavod: **Zavod za industrijsko inženjerstvo i menadžment**
Predmet: **Proizvodni strojevi, alati i naprave**
Grana: **2.11.03 proizvodno strojarstvo**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Karlo Čovran (0035216423)**
Studij: Sveučilišni prijediplomski studij strojarstva

Zadatak: **Poligonalno tokarenje - CAM programiranje / Polygonal turning - CAM programming**

Opis zadatka:

Poligonalnim tokarenjem je postupak strojne obrade koji nam omogućava proizvesti dijelove zahtjevnih poligonalnih oblika. U zadatku je potrebno objasniti način rada poligonalnog tokarenja, korištene rezne alate za ovaj proces, te prednosti ovakog tipa obrade u odnosu na poligonalno glodanje. Za konkretni izradak potrebno je temeljem razrađenog tehnološkog plana i dostupnog softverskog rješenja dobiti NC program za dati CNC alatni stroj. Prije same strojne obrade potrebno je provesti virtualnu provjeru putanje alata dobivenog NC programa kako bi se izbjegle moguće kolizije. U radu treba navesti korištenu literaturu, druge izvore informacija (internet, katalozi), kao i eventualno dobivenu pomoć.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Zadatak uručen pristupniku: 20. ožujka 2023.

Mentor:

Prof. dr. sc. Zoran Jurković

Prof. dr. sc. Mladen Perinić (komentor)

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

Izv. prof. dr. sc. Samir Žic

IZJAVA

Izjavljujem da sam Završni rad izradio samostalno koristeći se navedenom literaturom te znanjima i vještinama stečenim tijekom akademskog obrazovanja pod voditeljstvom prof. dr. sc. Zorana Jurkovića i prof. dr. sc. Mladena Perinića.

_____

Karlo Čovran

ZAHVALA

Zahvaljujem se svome mentoru prof. dr. sc. Zoranu Jurkoviću na pomoći, savjetima i stručnom vodstvu tijekom izrade završnog rada. Posebno se zahvaljujem radnicima i vodstvu firme MIV d.d. na pomoći pri izradi praktičnog dijela završnog rada i na dozvoli za korištenje tehničke dokumentacije u vlasništvu firme pri pisanju završnog rada. Zahvaljujem se i obitelji na potpori, strpljenju i razumijevanju tijekom studiranja.

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. POLIGONALNO TOKARENJE 2
2.1. Formiranje poligona 3
2.2. Alati za poligonalno tokarenje 5
2.3. Prednosti i nedostaci poligonalnog tokarenja 7
3. TOKARSKO GLODANJE 8
3.1. Vrste tokarskog glodanja 9
3.2. Rezni alati kod tokarskog glodanja 12
3.3. Prednosti i nedostaci tokarskog glodanja 15
4. USPOREDBA POLIGONALNOG TOKARENJA I TOKARSKOG GLODANJA 16
5. IZRADA PROGRAMA ZA OBRADU VRATILA 17
5.1. Pronalaženje putanje alata 20
5.2. Koncept programa 25
5.3. Gruba obrada 26
5.4. Zaravnavanje 32
5.5. Glodanje skošenja 34
5.6. Fina obrada poligona 37
5.7. Profiliranje brida 40
5.8. Potrebni parametri za obradu 41
6. SIMULACIJA OBRADE POLIGONALNOG VRATILA 42
7. ZAKLJUČAK 48
LITERATURA 49
SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI 50
SUMMARY NAD KEY WORDS 50
DODATAK A 51

1. UVOD

Obrada metala aktivnost je koja potječe još iz bakrenog doba kada su ljudi koristeći ručne alate oblikovali razna oružja i oruđa. Od onda pa sve do 18. stoljeća obrada metala vršila se ručnim alatima. Industrijska revolucija donijela je značajan napredak u obradi metala pojavom prvih tokarilica i glodalica. Tijekom 20. stoljeća tokarilice i glodalice su iz relativno jednostavnih strojeva namijenjenih obradi ograničene grupe dijelova postale nezaobilazni alati u modernoj industrijskoj proizvodnji. Integracijom računala u proizvodnju i razvojem računalnog numeričkog upravljanja alatnih strojeva industrijska proizvodnja postala je brža, efikasnija, jeftinija i pristupačnija, a mogućnosti obrade kao i sami rezultati obrade nikad nisu bili na višoj razini. Danas su CNC tokarilice i glodalice jedne od najkorištenijih grupa alatnih strojeva u industrijskoj proizvodnji metalnih, ali i nemetalnih proizvoda. Moderni CNC alatni strojevi mogu se okarakterizirati kao pouzdani, efikasni i fleksibilni strojevi s vrlo visokom razinom preciznosti u obradi.

Moderna industrijska proizvodnja iziskuje, između ostaloga, stalna ulaganja i modernizaciju proizvodne opreme kako bi ostali konkurentni na tržištu. Cilj tih ulaganja je prvenstveno povećanje produktivnosti uz smanjenje troškova proizvodnje, skraćivanje ciklusa proizvodnje, povećanje kvalitete proizvoda i poboljšanje uvjeta rada. Kao odgovor na sve kompleksnije zahtjeve tržišta javila se ideja o implementaciji dvaju ili više proizvodnih postupaka na jedan alatni stroj. Tako su se razvili obradni centri pa primjerice jedan moderni CNC obradni centar može obaviti različite operacije kao što su: tokarenje, bušenje, glodanje, provlačenje, rezanje zupčanika, poliranje, brušenje i mnoge druge. Osim skraćivanja vremena obrade, CNC obradni centri otvorili su nove horizonte i omogućili razvoj novih postupaka obrade odvajanjem čestica. Neki od tih postupaka su poligonalno tokarenje i tokarsko glodanje. Poligonalno tokarenje i tokarsko glodanje postaju sve zanimljiviji postupci jer osim što uvelike skraćuju vrijeme obrade, imaju veliki potencijal kod automatizacije procesa obrade rotacijskih proizvoda.

2. POLIGONALNO TOKARENJE

Poligonalno tokarenje postupak je strojne obrade koji nam omogućava izradu zahtjevnih poligonalnih oblika. Ideja poligonalnog tokarenja je mogućnost izrade ravnih površina, kvadratnih oblika, šesterokuta i mnogih drugih oblika bez da koristimo postupak glodanja [1][2][3]. Za provedbu postupka poligonalnog tokarenja moramo imati pogonjene alate kao i upravljačku jedinicu koja podržava navedeni postupak [1]. Koristi se specijalni držač alata koji ima nekoliko utora u koje se umeću rezne pločice. Držač alata obično rotira u suprotnom smjeru od rotacije obratka, premda postoje i izvedbe držača alata koje zahtijevaju da rotacija obratka i držača alata bude u istom smjeru. Poligon se formira sinkroniziranim okretanjem obratka i pogonjenog alata čiji rezni umetci zahvaćaju obod obratka [1]. Važno je napomenuti kako se svi oblici koje možemo dobiti poligonalnim tokarenjem mogu dobiti i klasičnim glodanjem. Međutim, značajne uštede na vremenu i mogućnost obrade na jednom stroju razlog su zašto se poligonalno tokarenje sve više i više koristi u industriji.

Slika 2.1 Šesterokutne glave vijaka izrađene postupkom poligonalnog tokarenja

2.1. Formiranje poligona

Za uspješnu izradu poligona korištenjem postupka poligonalnog tokarenja ključna su dva parametra:

- broj korištenih reznih umetaka
- omjer broja okretaja alata i obratka

Konačni oblik obrađene površine ovisi o kobinaciji ova dva parametra. U praksi se najčešće, gdje god je to moguće, koristi omjer broja okretaja 2:1, a brojem reznih umetaka u držaču alata određuje se konačni oblik obrađene površine. To znači da je broj okretaja alata duplo veći od broja okretaja obratka [4]. U tablici ispod prikazana je kombinacija broja umetaka i omjera broja okretaja koji se koriste za dobivanje željenog oblika kao i značajke obrađene površine.

Tablica 2.1 Parametri za dobivanje određenih oblika [4]

Oblik	Broj umetaka	Omjer (alat:obradak)	značajke obrađene površine
	1	1:1	značajna konveksnost
	2	1:1	blaga konveksnost
	1	2:1	konveksnost
	3	1:1	konveksnost
	2	1.5:1	konveksnost
	1	3:1	blaga konkavnost
	2	2:1	blaga konveksnost
	1	4:1	konkavnost
	3	1.66:1	konveksnost
	2	2.5:1	blaga konkavnost
	1	5:1	konkavnost
	3	2:1	blaga konveksnost
	2	3:1	konkavnost
	4	2:1	blaga konveksnost
	2	4:1	konkavnost

Iako postoji više kombinacija za izradu traženog oblika, rezultati obrade neće biti jednaki za sve kombinacije. Primjerice, korištenje omjera 1:1 rezultirat će značajnom konveksnošću obrađene površine, dok će omjer 3:1 rezultirati značajnom konkavnošću obrađene površine. Stoga se, gdje god je to moguće, preporuča da omjer broja okretaja držača alata i broja okretaja obratka bude 2:1. Za izradu oblika koje ne možemo dobiti korištenjem omjera 2:1 ne preporuča se obrada poligonalnim tokarenjem zbog moguće značajne konveksnosti ili konkavnosti obrađene površine. Površine obrađene korištenjem omjera 2:1 i dalje će imati vrlo malu konveksnost pa postupak poligonalnog tokarenja treba izbjegavati radimo li s uskim tolerancijama oblika i položaja [3][5]. Istraživanje o preciznosti poligona izrađenih različitim postupcima pokazalo je da poligonalno tokarenje daje najlošije rezultate što se tiče tolerancija oblika i položaja. Šesterokutni oblici proizvedeni poligonalnim tokarenjem imali su odstupanja ravnosti, oblika linije i paralelnosti za jedan ili dva reda veličine veća od šesterokutnih oblika izrađenih obodnim ili čeonim glodanjem [5].

Tablica 2.2 Usporedba odstupanja na šesterokutu izrađenim različitim postupcima u mm [5]

Tolerancija	**Poligonalno tokarenje**	**Obodno glodanje (interpolacija C i X osi)**	**Obodno glodanje (interpolacija X i Y osi)**	**Čeono glodanje**
Ravnost	0.124	0.013	0.005	0.006
Oblik linije	0.430	0.048	0.025	0.026
Paralelnost	0.149	0.025	0.010	0.015

U istraživanju je i pokazano kako primjenom postupka poligonalnog tokarenja možemo očekivati usmjerenu hrapavost površine, koja je najveća u smjeru posmaka alata, što je tipično za obradu tokarenjem. Obrada glodanjem u pravilu će dati veću kvalitetu obrađene površine [5]. Stoga se preporuča korištenje glodanja kod izrade poligona s visokim zahtjevima na kvalitetu obrađene površine i strogih tolerancija oblika i položaja.

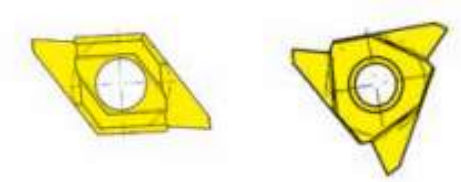
2.2. Alati za poligonalno tokarenje

Da bi koristili postupak poligonalnog tokarenja potrebno je imati tokarilicu opremljenu modulom za pogonjene alate. Uz to potreban nam je specijalni držač alata koji ima dva do četiri utora u koji se umeću rezne pločice. Pločice se osiguravaju pomoću vijaka. Neki od proizvođača alata za tokarsko glodanje su: MT Marchetti, Schwanog, Dieterle i PH Horn. Dieterle nudi i držače alata kod kojih se svaki utor može individualno podešavati što omogućuje precizniju obradu poligona [6].

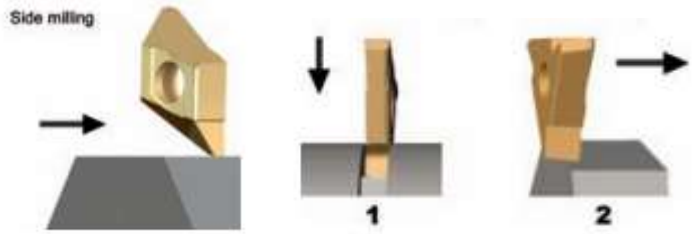
Slika 2.2 Različite izvedbe alata za poligonalno tokarenje proizvođača Schwanog [2]

Slika 2.3 Držač alata sa podesivim utorima za rezne pločice proizvođača Dieterle [6]

Kod reznih pločica koje se umeću u utore držača alata razlikujemo pločice s dvije i tri rezne oštrice. Za obradu poligona koji se ne nalazi na završetku obratka potrebne su rezne pločice za obradu utora koje mogu vertikalno ulaziti u materijal [3].



Slika 2.4 Rezne pločice za poligonalno tokarenje [4]



Slika 2.5 Pločice za longitudinalnu obradu (lijevo i desno) i obradu utora (sredina) [4]

2.3. Prednosti i nedostaci poligonalnog tokarenja

Prednosti:

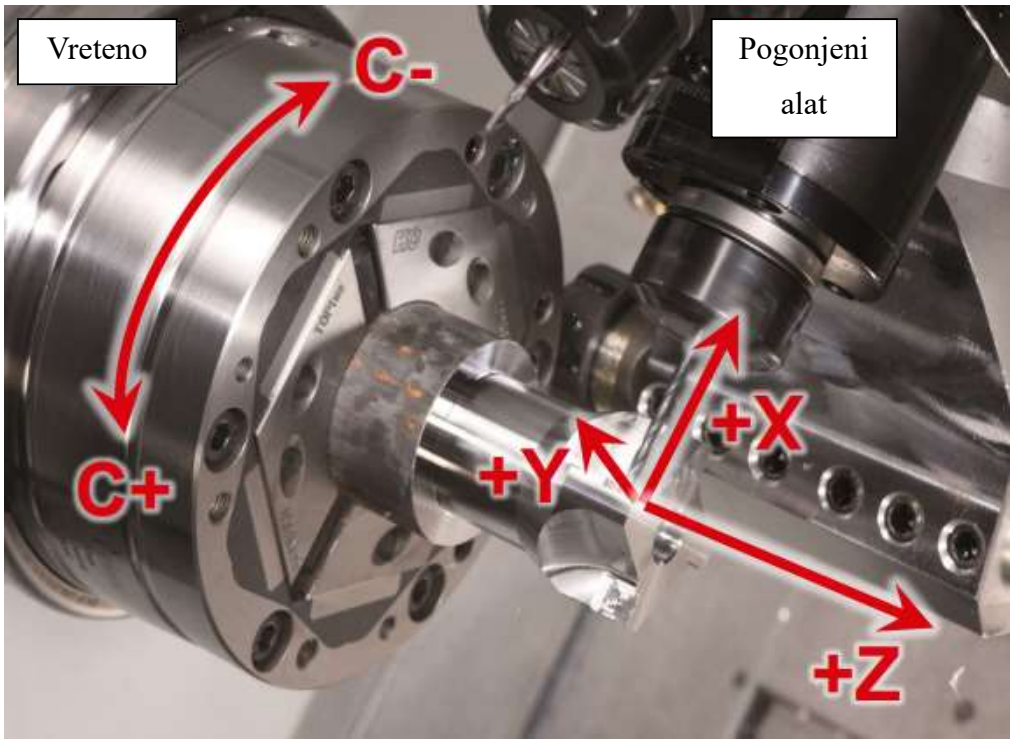
- Velike uštede na vremenu - Poligone na rotacijskim obratcima moguće je izraditi direktno na tokarilici. Eliminacija procesa glodanja znači da obradak ne moramo skidati s tokarlice, transportirati na glodalicu, stegnuti obradak, niti raditi novi program za glodanje poligona. Uz to, postupak izrade poligona poligonalnim tokarenjem brži je od izrade istog poligona glodanjem, pogotovo kod poligona veći dimenzija. Implementacijom poligonalnog tokarenja moguće su uštede na vremenu i do 90%. [1][2]
- Mogućnost automatizacije - Proces izrade nekih proizvoda moguće je u potpunosti automatizirati primjenom procesa poligonalnog tokarenja. Šesterokutna glava vijka ili šesterokutni oblici kod priključaka i spojnih elemenata cijevi više ne predstavljaju problem pri automatizaciji procesa jer se cijeli proizvod može izraditi na jednom stroju.
- Nema potrebe za šesterokutnim šipkama - Kod izrade vijaka sa šesterokutnom glavom kao i pri izradi priključaka i spojnih elemenata za cijevi nerijetko se koriste šesterokutne šipke. Kod takvih šipki potrebno je skinuti veliku količinu materijala samo da ostane mali dio šesterokutnog oblika što čini sam proces neekonomičnim. Korištenjem okruglih šipki i procesa poligonalnog tokarenja ostvaruju se uštede na materijalu.

Nedostaci:

- Potrebna dodatna ulaganja - Proces poligonalnog tokarenja zahtijeva modul za pogonjene alate. Tokarilice obične ne dolaze s modulom za pogonjene alate, nego je on dio dodatne opreme za koju moramo izdvojiti dodatna financijska sredstva. Osim toga, potrebno je nabaviti i specijalni držač alata i rezne umetke kompatibilne s držačem.
- Kompliciranije programiranje - Programa za poligonalno tokarenje zahtijeva dodatne naredbe u kodu i pažljivo pozicioniranje reznog alata u odnosu na obradak.
- Manja kvaliteta obrađene površine - Poligonalnim tokarenjem u pravilu dobivamo manju kvalitetu obrađene površine od obrade glodanjem [5].
- Veća odstupanja - Površine obrađene poligonalnim tokarenjem uvijek će biti krivulje s velikim polumjerom što znači da postupak nije primjenjiv radimo li s uskim tolerancijama oblika i položaja [5].
- Izrada neki poligona nije moguća bez značajne konkavnosti ili konveksnosti [4].

3. TOKARSKO GLODANJE

Tokarsko glodanje definira se kao postupak obrade odvajanjem čestica koji se dobio kombinacijom tokarenja i glodanja. Umjesto tokarskog noža, kao kod klasičnog tokarenja, koristi glodalo sa vlastitim pogonom. Za razliku od tokarenja, kod tokarskog glodanja glavno gibanje obavlja alat, tj. glodalo, dok je posmično gibanje translacija glodala i rotacija obratka koju obavlja projektirani modul za okretno glodanje [7]. Osim pogonjenih alata, za provedbu postupka tokarskog glodanja tokarilica mora imati i dodatne osi. Glavno vreteno postaje C os koja može držati obradak u specifičnom položaju ili kontrolirano rotira u pozitivnom ili negativnom smjeru. Y os omogućava nam obradu izvan centra rotacije obratka i njenom implementacijom alat može obaviti sve funkcije kao i kod klasične glodalice [9]. Tokarsko glodanje našlo je svoju primjenu u obradi materijala koji stvaraju kontinuiranu i dugu odvojenu česticu što može uzrokovati probleme na CNC strojevima i obradnim centrima. Postupak se sve više koristi za izradu komplicirane geometrije u automobilskoj, zrakoplovnoj i energetskoj industriji. Idealan je za izradu velikih, neokruglih i ekscentričnih izradaka koje je nemoguće obraditi klasični tokarenjem, a gdje obrada glodanjem ne bi bila ekonomična [7][8].

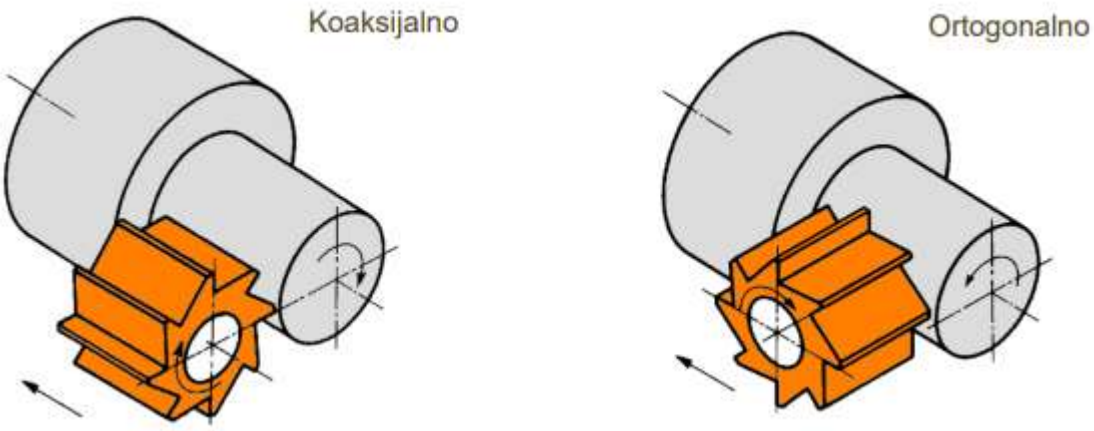


Slika 3.1 Koordinatne osi kod tokarskog glodanja [9]

3.1. Vrste tokarskog glodanja

Razlikujemo dvije vrste tokarskog glodanja s obzirom na međusobni položaj osi alata i obratka:

- koaksijalno tokarsko glodanje
- ortogonalno tokarsko glodanje



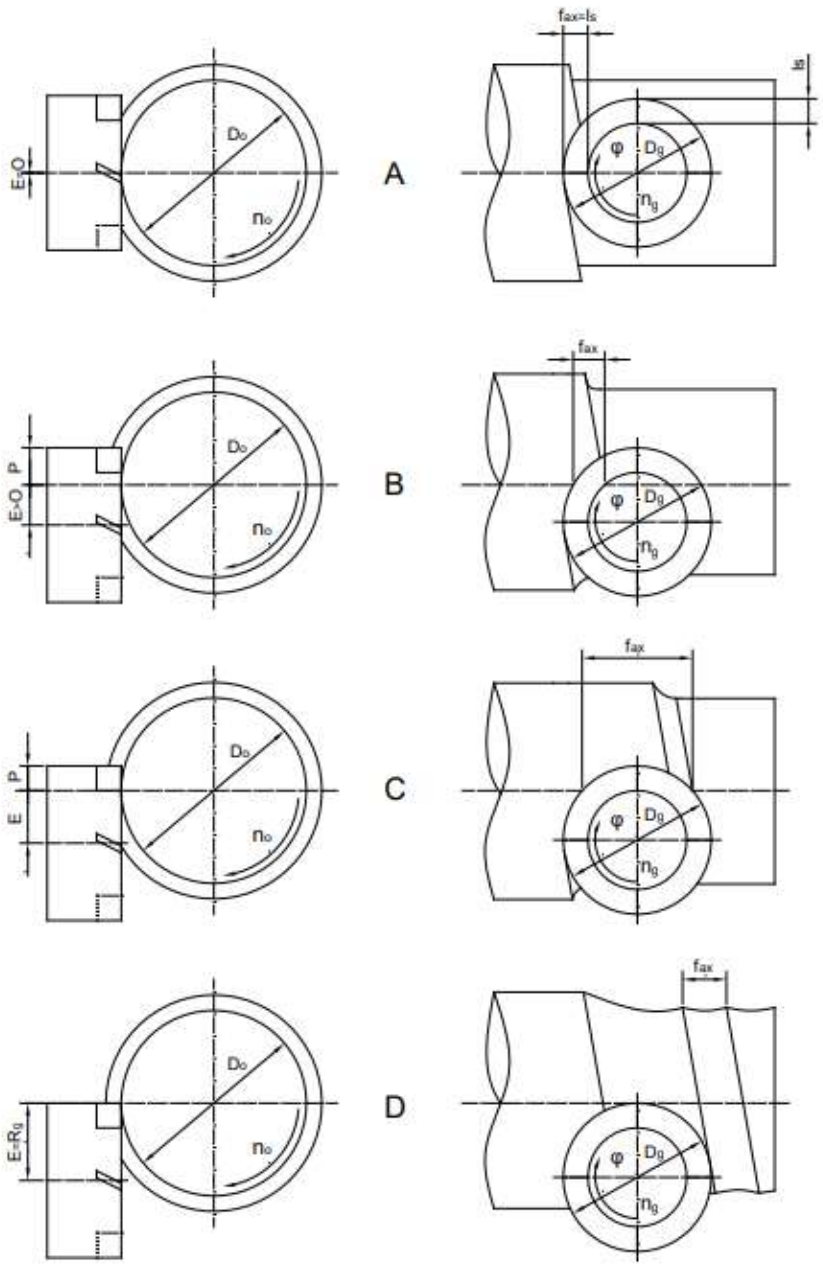
Slika 3.2 Koaksijalno i ortogonalno tokarsko glodanje [7]

Kod koaksijalnog tokarskog glodanja osi alata i obratka međusobno su paralelne (slika 3.2 lijevo). Pri koaksijalnom tokarskom glodanju još razlikujemo i obradu vanjskih i unutarnjih površina glodalom koje ima rezne pločice postavljene po vanjskom obodu. Postoje i izvedbe glodala sa reznim pločicama postavljenim po unutarnjem obodu koje se koristi kod tzv. obilaznog tokarskog glodanja. Obilazno tokarsko glodanje nerijetko se primjenjuje kod izrade koljenastih osovina [7].

Osi alata i obratka kod ortogonalnog tokarskog glodanja međusobno su okomite i glodalo svojim čelom zahvaća obradak (slika 3.2 desno). Ortogonalno tokarsko glodanje dalje se može podijeliti s obzirom na odnos broja okretaja glodala i obratka. Ovdje se mogu javiti dva slučaja:

- $n_g < n_o$ - Broj okretaja obratka veći je od broja okretaja glodala. Glavno rotacijsko gibanje izvodi obradak, a glodalo izvodi posmično rotacijsko gibanje. Primjenjuje se samo u istraživačke svrhe.
- $n_g > n_o$ - Broj okretaja glodala veći je od broja okretaja obratka. Glodalo izvodi glavno rotacijsko gibanje, a obradak izvodi posmično rotacijsko gibanje. Ovakav način ortogonalnog tokarskog glodanja najviše je istražen i kao takav njegova je primjena zaživjela u praksi [7].

Ortogonalno tokarsko glodanje možemo podijeliti i prema veličini razmaka između osi obratka i alata. Tu razlikujemo centrično i ekscentrično ortogonalno glodanje. Kod centričnog ortogonalnog tokarskog glodanja os alata postavljena je tako da siječe os obratka (slika 3.3 pozicija A). Kod ekscentričnog ortogonalnog tokarskog glodanja osi alata i obratka se ne sijeku, već između njih postoji neki razmak, odnosno ekscentar. Slika 3.3 prikazuje četiri karakteristična položaja koja se primjenjuju pri ortogonalnom tokarskom glodanju [7][8].



Slika 3.3 Međusobni položaji osi kod ortogonalnog tokarskog glodanja [7]

Pozicije B, C i D (slika 3.3) predstavljaju različite varijantne ekscentričnog ortogonalnog tokarskog glodanja s različitim veličinama ekscentra E (slika 3.3). Odabir pozicije ortogonalnog tokarskog glodanja imat će utjecaj na produktivnost postupka, kao i na kvalitetu obrađene površine. Najveća vrijednost aksijalnog posmaka kod centričnog ortogonalnog tokarskog glodanja jednaka je duljini rezne oštrice (l_s). Najveću produktivnost postupka postići ćemo odabirom vrijednosti ekscentra:

$$E = \frac{D_g}{2} - l_s \qquad (3.1)$$

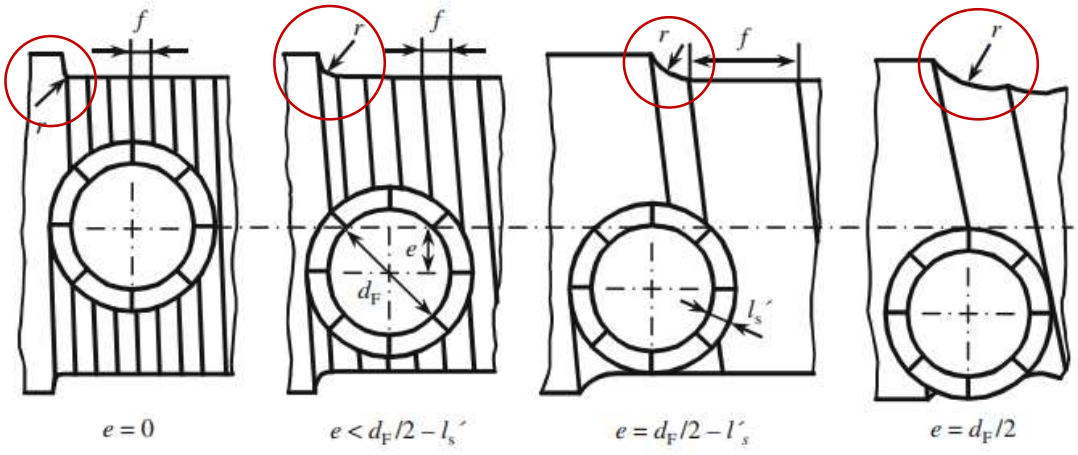
gdje je:

E ekscentar

D_g promjer glodala

l_s duljina rezne oštrice

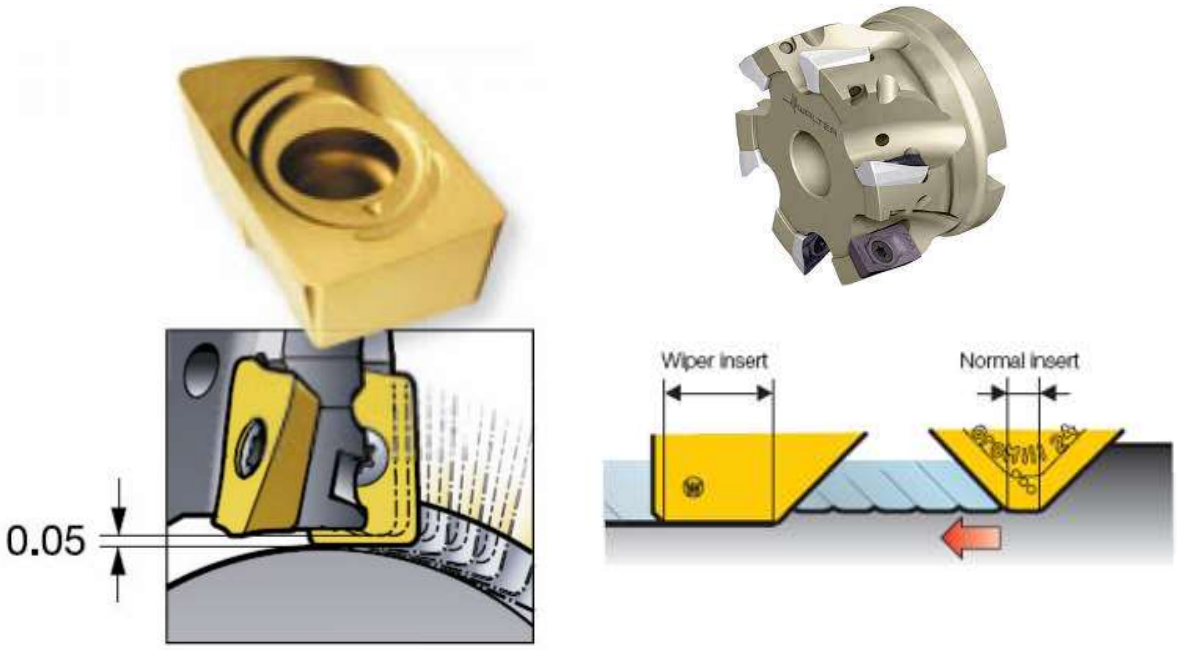
Vrijednost ekscentra prema formuli 3.1 odgovara poziciji C (slika 3.3) i tada je moguće primijeniti najveći aksijalni posmak. Pozicija D (slika 3.3) predstavlja slučaj kada je vrijednost ekscentra E jednaka polovici promjera glodala. Primjenom te pozicije na obrađenoj će površini nastati neravnine u aksijalnom smjeru pa se u praksi ne koristi [7]. Centričnim ortogonalnim tokarskim glodanjem moguće je postići oštre prijelaze kao što je označeno na slici 3.4, što je nemoguće postići kod ekscentričnih pozicija zbog kinematskih razloga. Uz to, kvaliteta obrađene površine viša je kod centričnog ortogonalnog tokarskog glodanja stoga se češće koristi iako je manje produktivno. Preporuča se korištenje ekscentričnog ortogonalnog tokarskog glodanja kod operacija grube obrade i centrično ortogonalno tokarsko glodanje kod završne obrade [8].



Slika 3.4 Prijelazi kod različitih pozicija ortogonalnog tokarskog glodanja [8]

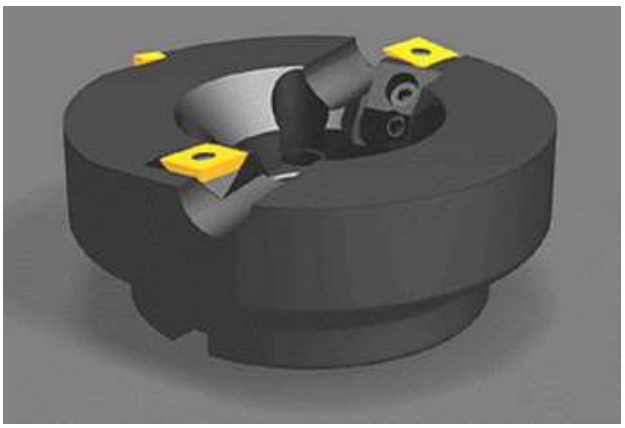
3.2. Rezni alati kod tokarskog glodanja

Iako postoje neke specijalne izvedbe alata za tokarsko glodanje, u praksi se najčešće upotrebljava standardno čeono glodalo. Čeona glodala obavezno moraju imati barem jednu reznu pločicu sa prednjim kutom (κr = 0°) relativno paralelnim sa osi obratka [8]. Takva pločica naziva se „Wiper“ pločica. „Wiper“ pločica je ta koja određuje dimenziju obratka i osigurava cilindričnost površine obratka. Isto tako omogućuje nam i veću kvalitetu obrađene površine i bolju kontrolu nad strugotinom [7].

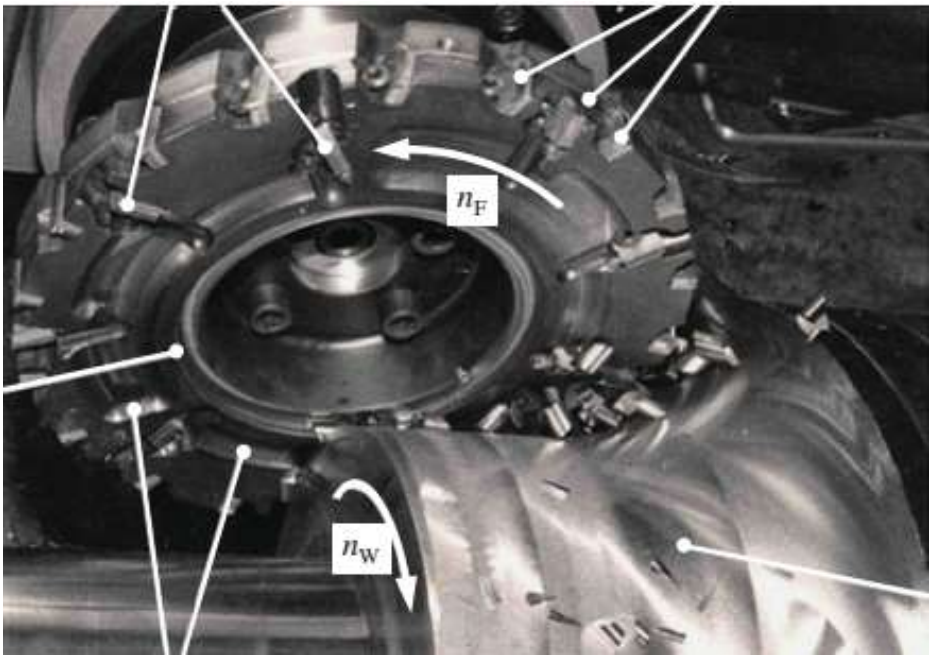


Slika 3.5 Wiper rezna pločica i glodalo s jednom Wiper reznom pločicom

Posebne izvedbe alata za tokarsko glodanje obično se izrađuju po narudžbi i rjeđe se koriste u praksi. Proizvođač alata SECO iz svog specijalnog programa nudi glodalo za finu obradu ortogonalnim tokarskim glodanjem (slika 3.6). Na slici 3.7 prikazan je jedan specijalan alat proizvođača SECO. Ovo specijalno glodalo omogućuje korištenje većeg aksijalnog posmaka zbog dodatnih reznih oštrica što ujedno i povećava produktivnost postupka, a dodane komore omogućuju bolju kontrolu nad skinutim materijalom [8].



Slika 3.6 Specijalno glodalo za završnu obradu ortogonalnim tokarskim glodanjem [7]



Slika 3.7 Specijalna izvedba alata za tokarsko glodanje [8]

Za obradu velikih koljenastih osovina koristio se postupak koaksijalnog tokarskog glodanja. Glodala za koaksijalno tokarsko glodanje velikih su dimenzija i vrlo su skupa. Postoje izvedbe s reznim oštricama na vanjskom ili unutarnjem obodu glodala. Sljedeće slike prikazuju koaksijalna tokarska glodala za obradu velikih koljenastih osovina proizvođača Walter [8].

Slika 3.8 Glodalo za koaksijalno tokarsko glodanje koljenastih osovina [8]

Slika 3.9 Glodalo za obilazno koaksijalno tokarsko glodanje koljenastih osovina [8]

Ovakva glodala za koaksijalno tokarsko glodanje koljenastih osovina sve su rjeđe u upotrebi zbog velikih dimenzija i masa. Danas se za obradu koljenastih osovina uglavnom koristi postupak ortogonalnog tokarskog glodanja. Postupak je brži, a i glodala su puno jeftinija [7].

Slika 3.10 Ortogonalno tokarsko glodanje koljenaste osovine [7]

3.3. Prednosti i nedostaci tokarskog glodanja

Prednosti [7][10]:

- Uštede na vremenu - Mogućnost obrade izradaka koji zahtijevaju obradu tokarenjem i glodanjem na jednom stroju znači kraći ciklus izrade.
- Oblik odvojene čestice - Tokarskim glodanjem nastaje kratka i odvojena čestica što je povoljnije od duge i kontinuirane odvojene čestice koja nastaje tokarenjem, pogotovo ako radima na obradnim centrima.
- Izrada kompleksne geometrije - Tokarskim glodanjem možemo proizvesti izratke kompleksne geometrije i neuravnoteženih masa poput koljenastih osovina koje je teško ili nemoguće izraditi na klasičnim tokarilicama i glodalicama.
- Male sile rezanja - Male sile rezanja doprinose dimenzijskoj točnosti i točnosti oblika.
- Kvaliteta obrađene površine - Moguće je postići visoku kvalitetu obrađene površine.
- Alat - Standardna glodala moguće je koristiti kod postupka tokarskog glodanja. Širok asortiman glodala i velik broj proizvođača znači da je vrlo lako naći odgovarajuće glodalo po relativno niskoj cijeni bez predugog roka dobave. Želimo li poboljšati proces, postoji i mogućnost izrade specijalnih glodala.

Nedostaci [7]:

- Potrebna oprema - Pogonjeni alati te C i Y os preduvjeti su za obradu tokarskim glodanjem što znači da je postupak primjenjiv za CNC obradne centre. To podrazumijeva i veću cijenu same opreme.
- Osjetljivost na vibracije - Postupak tokarskog glodanja vrlo je osjetljiv na vibracije. Stroj mora biti što krući i imati mogućnost prigušivanja vibracija želimo li izbjeći netočnosti obrade i lošu kvalitetu obrađene površine.
- Programiranje - Samo programiranje postupka s više od tri osi zahtijeva dodatno znanje programera i dodatne mogućnosti samog programskog paketa. Programiranje tokarskog glodanja zahtjevnije je od programiranja tokarenja i glodanja.

4. USPOREDBA POLIGONALNOG TOKARENJA I TOKARSKOG GLODANJA

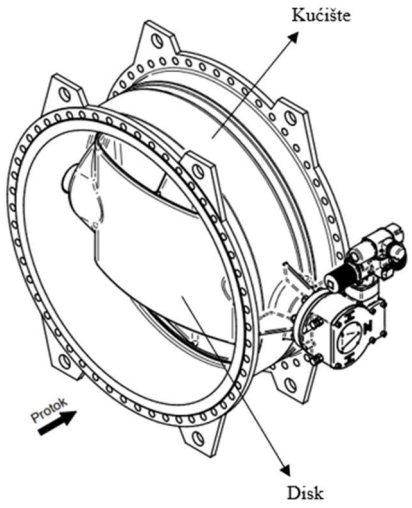
Poligonalno tokarenje i tokarsko glodanje postupci su obrade odvajanjem čestica nastali kombinacijom tokarenja i glodanja. Ova dva postupka izgledaju dosta slično i mnogi ljudi koji se nisu dosad susreli sa ovim postupcima vjerojatno bi rekli da se radi o istom postupku. Međutim, poligonalno tokarenje i tokarsko glodanje dva su različita postupka koja se uglavnom koriste u različite svrhe. Kod poligonalnog tokarenja, kao i kod standardnog tokarenja, glavno gibanje izvodi obradak dok alat izvodi pomoćno posmično. Uz to alat izvodi i rotacijsko gibanje oko svoje osi. Tokarsko glodanje više sliči na glodanje nego tokarenje. Glavno gibanje izvodi alat odnosno glodalo. Posmično gibanje može izvoditi alat, obradak ili oboje u isto vrijeme. Tokarsko glodanje zahtijeva Y i C osi kao i pogonjene alata stoga se on provodi na tokarskim obradnim centrima. Poligonalno tokarenje moguće je provoditi i na klasičnim tokarilicama implementacijom modula za pogonjene alate. Što se tiče reznog alata, za postupak tokarskog glodanja mogu se koristiti i standardna glodala dok je za poligonalno tokarenje potreban specijalni držač alata i kompatibilni rezni umetci.

Tokarsko glodanje puno je fleksibilniji postupak koji nam omogućuje izradu ravnih površina, cilindričnih površina, utora te mnogih drugi kompleksnih oblika. Poligonalno tokarenje koristiti ćemo samo pri izradi ravnih površina i poligona na rotacijskim obradcima. Poligonalne oblike i ravne površine bez problema je moguće izraditi i postupkom tokarskog glodanja i to čak s boljim rezultatima od postupka poligonalnog tokarenja. Međutim, brzina izrade samih poligonalnih oblika kod poligonalnog tokarenja razlog je zašto se taj postupak sve češće upotrebljava u praksi. Oba postupka zahtijevaju i dodatna znanja kod programiranja istih jer je sinkronizacija alata s rotacijom obratka ključna kod oba postupka.

Poligonalno tokarenje i tokarsko glodanje pronašli su svoje mjesto u modernoj industrijskoj proizvodnji i uzeći u obzir moderne trendove industrijske proizvodnje lako možemo zaključiti da će se oba postupka sve češće koristiti i dalje razvijati.

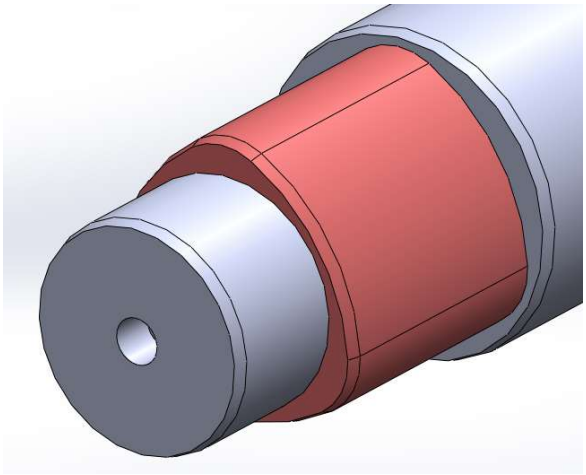
5. IZRADA PROGRAMA ZA OBRADU VRATILA

Metalska industrija Varaždin d.d., skraćeno MIV d.d., prepoznati je svjetski proizvođač ventila i fazona koji se ugrađuju u vodovodne sustave, sustave za odvodnju, energetske sustave, sustave za desalinizaciju, pumpne stanice te procesnu industriju diljem svijeta. Jedan od najtraženijih proizvoda je leptirasti zatvarač na kojemu sam imao prilike raditi tijekom industrijske prakse. Tijekom mojeg boravka u firmi radilo se na 20 takvih leptirastih zatvarača za potrebe projekta modernizacije sustava odvodnje u Egiptu. Leptirasti zatvarač kompleksan je proizvod koji se sastoji od 36 pozicija, no glavni dijelovi su kućište i disk. Disk se nalazi unutar kućišta i rotira oko svoje osi pri čemu zauzima jedan od dva položaja: otvoreni i zatvoreni. Disk će većinu vremena provesti u otvorenom položaju i propuštati tok vode, a rotacijom diska za 90˚ moguće je obustaviti protok vode.



Slika 5.1 Sklop leptirastog zatvarača

Za rotaciju diska koristi se elektromotor koji putem vratila prenosi okretni moment potreban za okretanje diska. Kod prijašnjih izvedbi leptirastog zatvarača vratilo je bilo povezano s diskom pomoću dva pera. Najveći promjer kućišta leptirastog zatvarača kojeg MIV izrađuje je 4000 mm pa masa diska može doseći i do 4000 kg što je predstavljalo problem kod prijenosa okretnog momenta jer pera ne bi izdržala toliki okretni moment. Konstruktori su se tada odlučili za upotrebu tzv. poligonalnog vratila. Poligonalno vratilo na jednom kraju umjesto utora za pero ima poligon karakterističnog oblika prema normi DIN 32711-1:2009-03. Taj poligonalni završetak vratila ulazi u odgovarajući utor u disku čime smo dobili veću kontaktnu površinu između vratila i diska što nam omogućuje prijenos većih okretnih momenata.



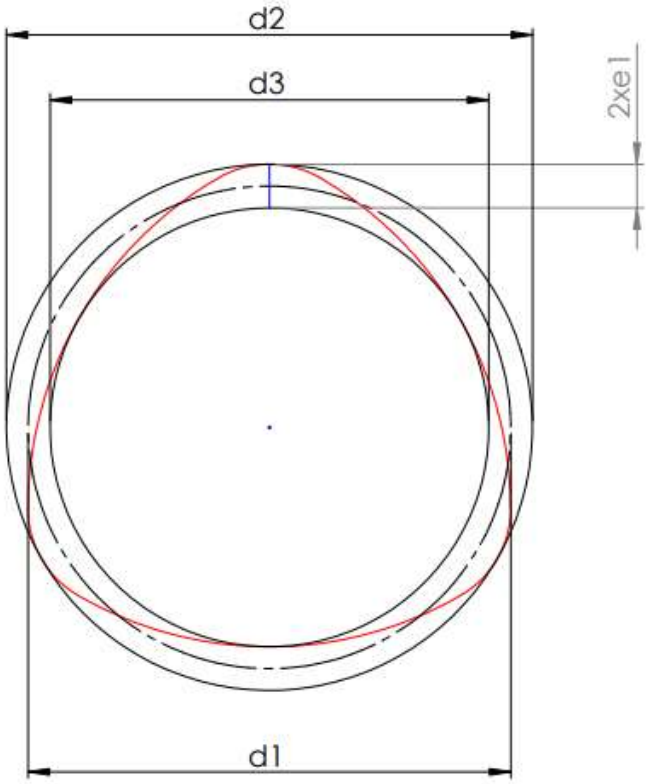
Slika 5.2 Poligonalni završetak vratila (označen crveno)

Poligonalno vratilo riješilo je problem prijenosa velikih okretnih momenata, ali je donijelo i neke nove probleme jer je izrada samog poligonalnog vratila puno kompleksnija od izrade običnog vratila s utorima za pero. Geometriju poligonalnog vratila nemoguće je izraditi koristeći klasičnu tokarilicu pa nam se nameće glodalica kao drugi izbor. Međutim, glodalice kojima raspolaže firma zbog ograničenja radnog prostora ili starije upravljačke jedinice nisu u mogućnosti adekvatno obraditi vratila. Za obradu poligonalnog vratila koristi se postupak tokarskog glodanja na tokarskom obradnom centru Spinner TC800L sa Siemens upravljačkom jedinicom čiji je produženi hod Z-osi idealan za obradu vratila duljine do 1580 mm, a pogonjeni alati omogućuju izradu poligonalnih oblika. Dosad se obrada vratila programirala se u softverskom paketu SolidCAM i pomoću USB-a generirani se kod prenosio u pogon na CNC stroj. Ovakav način rada funkcionirao je kada nije bilo mnogo narudžbi leptirastih zatvarača na kojima se koristilo poligonalno vratilo, no zadnjih godina potreba za obradom poligonalnih vratila sve je veća pa je bilo potrebno taj postupak pojednostaviti i ubrzati. Moj zadatak bio je izraditi univerzalni program koji će se pohraniti u upravljačku jedinicu alatnog stroja. Program bi omogućio obradu poligonalnih vratila bilo koje veličine i eliminirao potrebu za programiranjem u SolidCAM-u jer bi sve potrebne veličine CNC operater unosio u predviđeno sučelje upravljačke jedinice stroja. Samim time eliminirala bi se i mogućnost pogreške tijekom modeliranja vratila, generiranja putanje alata ili unošenja parametara obrade. CNC operater neće morati čekati CAM programera kako bi započeo obradu vratila, a CAM programer neće morati prilagođivati program nakon svake nove narudžbe leptirastog zatvarača.

Poligoni su konstruirani prema DIN 32711-1:2009-03 standardu (tablica 5.1).

Tablica 5.1 DIN 32711-1:2009-03 standard za oblik poligona

Nenn-größe	Welle				Nabe							
	d_1	d_2	d_3	e_1	d_4	d_5	d_6	Vor-boh-rung für d_6	Schleif-scheiben durch-messer d_7	e_2	r_1	r_2
Toleranz feld	g6 k6			js4	H7			H8	max.			
14	14	14,88	13,12	0,44	14	14,88	13,12	12,9	5	0,44	9.856	4,14
16	16	17	15	0,5	16	17	15	14,8	6,3	0,5	11.245	4,75
18	18	19,12	16,88	0,56	18	19,12	16,88	16,6		0,56	12.635	5,36
20	20	21,26	18,74	0,63	20	21,26	18,74	18,3		0,63	14.093	5,9
22	22	23,4	20,6	0,7	22	23,4	20,6	20,3	8	0,7	15.543	6,45
25	25	26,6	23,4	0,8	25	26,6	23,4	23		0,8	17.692	7,3
28	28	29,8	26,2	0,9	28	29,8	26,2	25,8	10	0,9	19.841	8,15
30	30	32	28	1	30	32	28	27,6		1	21.490	8,5
32	32	34,24	29,76	1,12	32	34,24	29,76	29,4		1,12	23.269	8,72
35	35	37,5	32,5	1,25	35	37,5	32,5	32,1		1,25	25.617	9,37
40	40	42,8	37,2	1,4	40	42,8	37,2	36,8	13	1,4	29.087	10,9
45	45	48,2	41,8	1,6	45	48,2	41,8	41,4		1,6	32.885	12,1
50	50	53,6	46,4	1,8	50	53,6	46,4	46	18	1,8	36.683	13,3
55	55	59	51	2	55	59	51	50,5		2	40.481	14,5
60	60	64,5	55,5	2,25	60	64,5	55,5	55		2,25	44.607	15,37
65	65	69,9	60,1	2,45	65	69,9	60,1	59,6	20	2,45	48.405	16,57
70	70	75,6	64,4	2,8	70	75,6	64,4	63,9		2,8	53.173	18,8
75	75	81,3	68,7	3,15	75	81,3	68,7	68,2		3,15	57.948	17,02
80	80	86,7	73,3	3,35	80	86,7	73,3	72,8		3,35	61.746	18,22
85	85	92,1	77,9	3,55	85	92,1	77,9	77,4		3,55	65.545	19,42
90	90	98	82	4	90	98	82	81,5		4	70.962	19
95	95	103,5	86,5	4,25	95	103,5	86,5	86		4,25	75.088	19,87
100	100	109	91	4,5	100	109	91	90,5		4,5	79.207	20,79
110	110	119,9	100,1	4,95	110	119,9	100,1	99,6	25	4,95	87.124	22,83
120	120	130,8	109,2	5,4	120	130,8	109,2	108,7		5,4	95.048	24,9
130	130	141,7	118,3	5,85	130	141,7	118,3	117,8		5,85	102.965	26,98
140	140	152,6	127,4	6,3	140	152,6	127,4	126,9	30	6,3	110.889	29,05
150	150	163,5	136,5	6,75	150	163,5	136,5	136		6,75	118.806	31,13
160	160	174,4	145,6	7,2	160	174,4	145,6	145,1		7,2	126.731	33,2
170	170	185,3	154,7	7,65	170	185,3	154,7	154,2		7,65	134.648	35,26
180	180	196	164	8	180	196	164	163,5		8	141.923	38

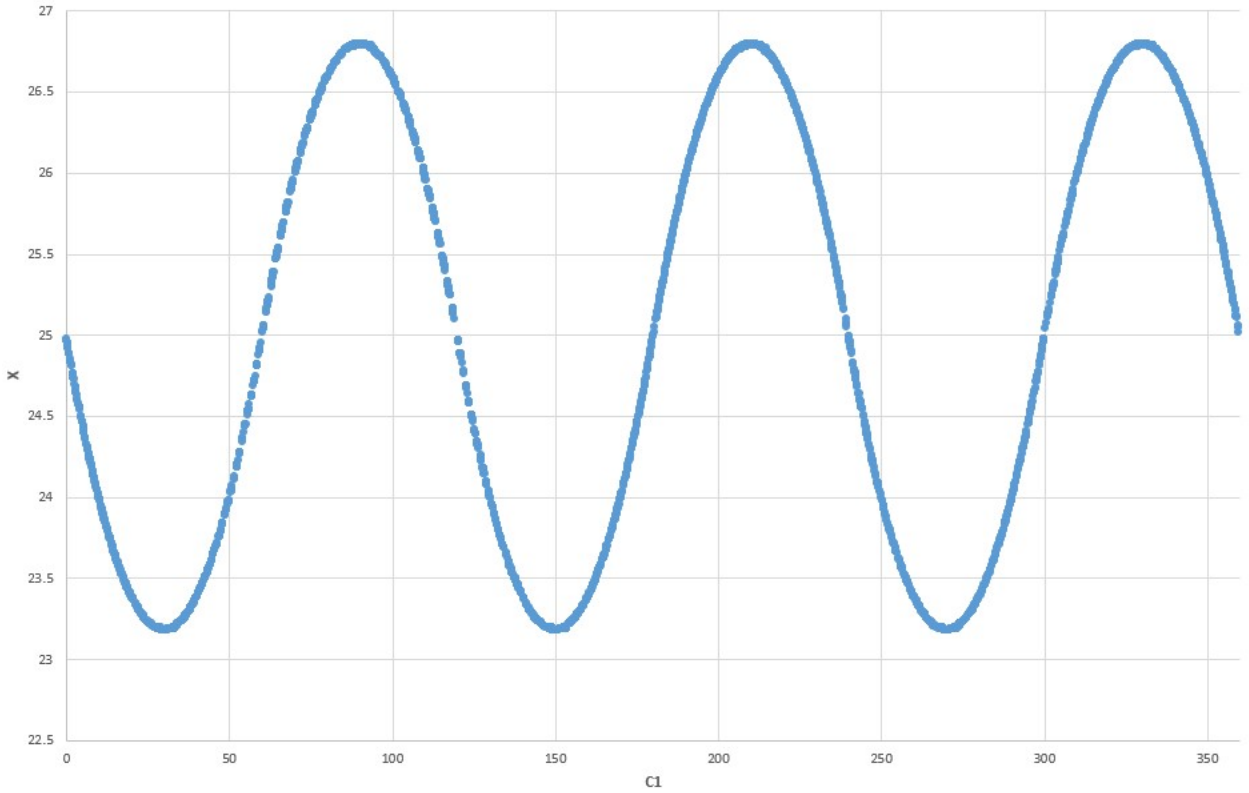


Slika 5.3 Dimenzije potrebne za izradu poligona

5.1. Pronalaženje putanje alata

Prije početka izrade samog programa, potrebno je poznavati putanju alata tijekom obrade. Za svrhu pronalaženja putanje alata iskorišten je gotov SolidCAM program za poligon 50 prema tablici 5.1. Iz tog SolidCAM programa moguće je generirati G kod u kojem se vidi položaj alata u X, Y i Z koordinatnom sustavu. Vidi se i C os čija vrijednost predstavlja za koliko je stupnjeva obradak zarotiran u odnosu na početni položaj. Iz G koda možemo primijetiti da X i Y koordinata alata ovisi o vrijednosti C osi što je logično jer zbog geometrije poligona alat nakon svake rotacije obratka mora prilagođavati svoj položaj, ovisno koji dio poligona se obrađuje. Generirani G kod za obradu poligona sadrži više od 40000 linija koda pa je teško iz njega saznati ovisnost X i Y osi o C osi tijekom obrade. Bolju sliku o putanji alata tijekom rotacije obratka dobiti ćemo ako generirani G kod uvezemo u Excel gdje možemo grafički prikazati ovisnost X i C osi, odnosno Y i C osi. Prije uvezivanja potrebno je modificirati datoteku G koda tako da se na prvom mjestu nalazi vrijednosti X osi, na drugom vrijednost Y osi, trećem vrijednost Z osi i na posljednjem mjestu vrijednost C osi. Nakon uvezivanja, dobiveni su grafovi koji prikazuju putanju alata po X

i Y osi u ovisnosti o C osi. Budući da os C predstavlja za koliko je stupnjeva obradak zarotiran u odnosu na njegov početni položaj, C os može poprimiti vrijednosti od 0 do 360.



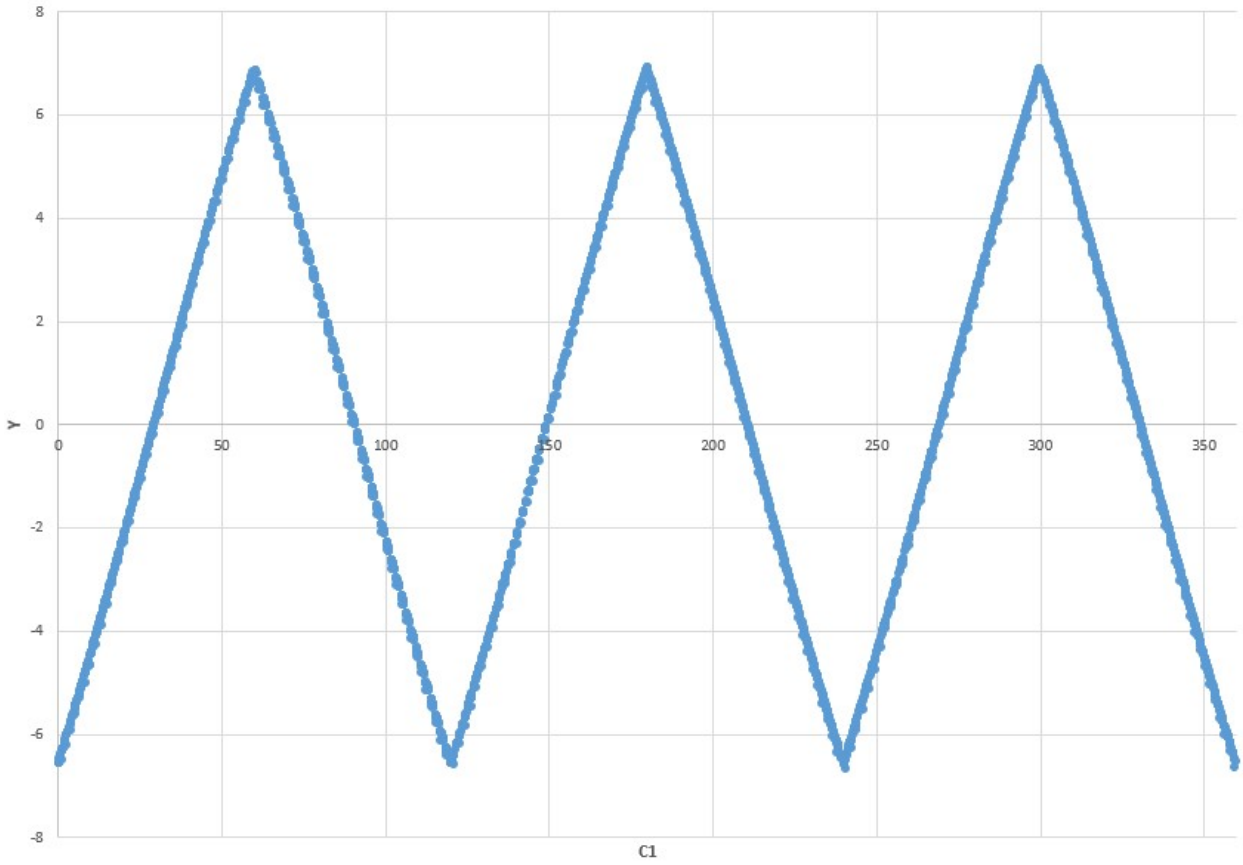
Slika 5.4 Graf ovisnosti osi X o osi C

Iz grafa ovisnosti osi X o osi C lako je zaključiti da je putanja alata po X osi sinusoida. Sljedeći korak je pronaći o kojoj se točno sinusoidi radi, tj. odrediti njenu amplitudu i frekvenciju. Amplitudu možemo odrediti tako da maksimalnu vrijednost X koordinate oduzmemo od minimalne vrijednosti X koordinate. U slučaju poligona 50, amplituda nam ispada 3.62 mm što je jednako dvostrukoj vrijednosti e_1 iz tablice 5.1. Iz grafa je vidljivo da funkcija sinus svoj oblik ponovi 3 puta između kuteva 0˚ i 360˚ (0 i 2π) što znači da je frekvencija funkcije ω = 3. Također je vidljivo da vrijednost X osi ne starta iz nule nego iz vrijednosti 25 što je odgovara polovici vrijednosti d_1 iz tablice 5.1 za poligon 50. Konačno, putanju alata po X osi možemo zapisati kao sljedeću funkciju:

$$X = \frac{d_1}{2} - e_1 * \sin(3 * C1). \qquad (5.1)$$

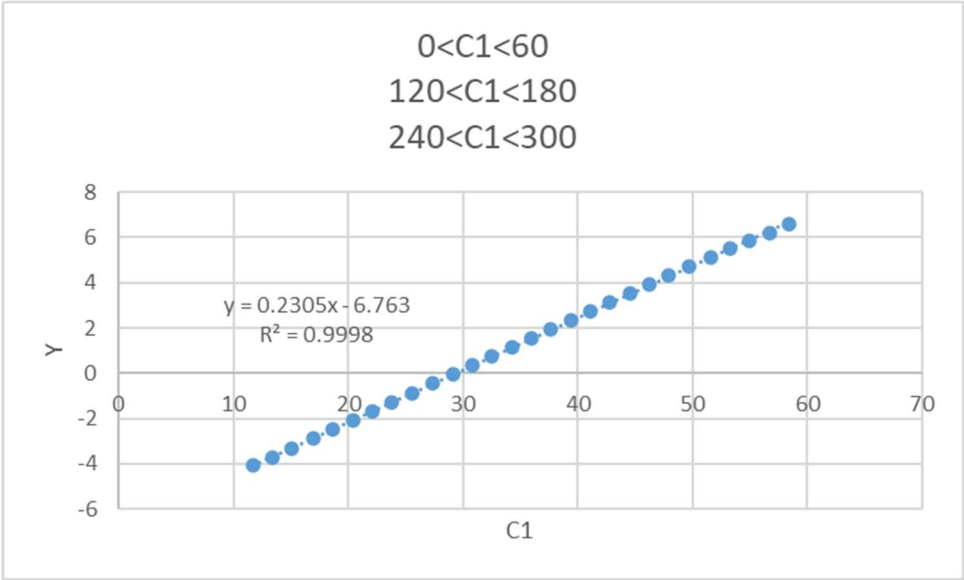
Vrijednosti d_1 i e_1 dimenzije su poligona (slika 5.3) čije vrijednosti očitavamo iz tablice 5.1 prema standardu DIN 32711-1:2009-03.

Preostaje nam još saznati putanju alata po Y osi. Ovdje je situacija nešto drugačija od putanje alata po X osi. Putanja alata po Y osi pravac je koji mijenja svoju jednadžbu za svakih 60˚ rotacije obratka.



Slika 5.5 Graf ovisnosti osi Y o osi C

Nacrtamo li graf koji na apscisi ima vrijednosti C osi između 0 i 60 te na ordinati vrijednosti Y osi možemo lako dobiti jednadžbu pripadajućeg pravca korištenjem Excelovog alata za linearnu regresiju.



Slika 5.6 Ovisnost Y osi o osi C (0<C<60)

Putanja alata po Y osi jednadžba je pravca koja glasi:

$$y = 0.2305 * C1 - 6.763 \qquad (5.2)$$

i vrijedi samo kada je vrijednost C osi:

- 0≤C<60
- 120≤C<180
- 240≤C<300

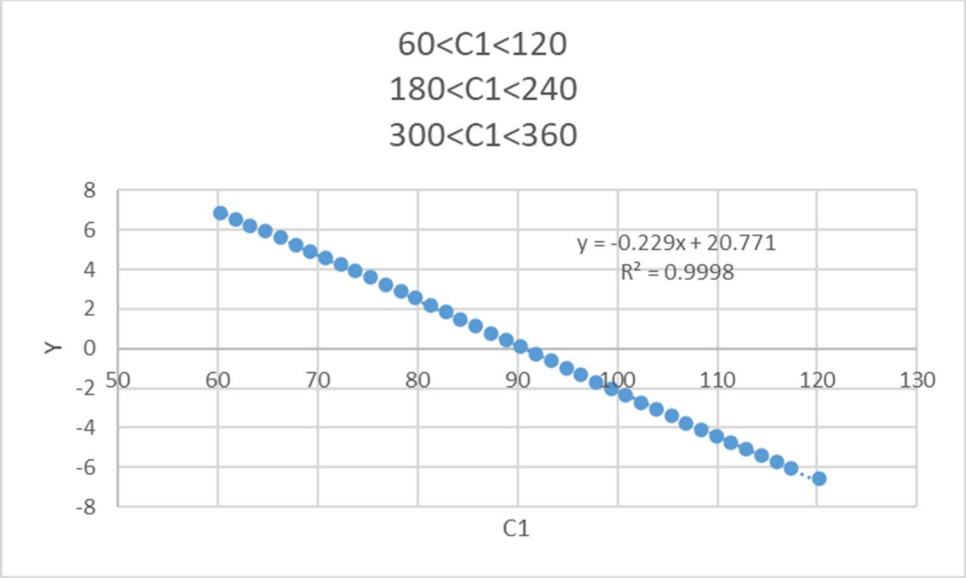
Visok koeficijent korelacije (R^2 =0.9998 sa slike 5.6) pokazuje nam da dobiveni pravac gotovo savršeno opisuje dane podatke.

Ponovimo li taj postupak za sve vrijednosti osi C gdje imamo padajuće pravce (slika 5.5) dobit ćemo jednadžbu pravca:

$$y = -0.229 * C1 + 20.771 \qquad (5.3)$$

koja vrijedi za sljedeće vrijednosti C osi:

- 60≤C<120
- 180≤C<240
- 300≤C<360



Slika 5.7 Ovisnost Y osi o osi C (60<C<120)

Koeficijent korelacije (R^2 =0.9998 sa slike 5.7) daje nam potvrdu da se podaci uistinu nalaze na dobivenom pravcu.

Točnost dobivenih putanja alata možemo provjeriti uvrštavanjem odgovarajućih podataka u formule 5.1, 5.2 i 5.3 i oduzimanjem od vrijednosti u G kodu. Apsolutna vrijednost rezultata pokazuje nam odstupanje putanje alata dobivene kroz navedene formule i stvarne putanje alata. Budući da se većina odstupanja mjeri u stotinkama milimetra zaključujemo da su dobivene formule dobra reprezentacija putanje alata i koristeći ih u izradi programa možemo očekivati jednake rezultate obrade kao i kod programa dobivenog u SolidCAM softverskom paketu.

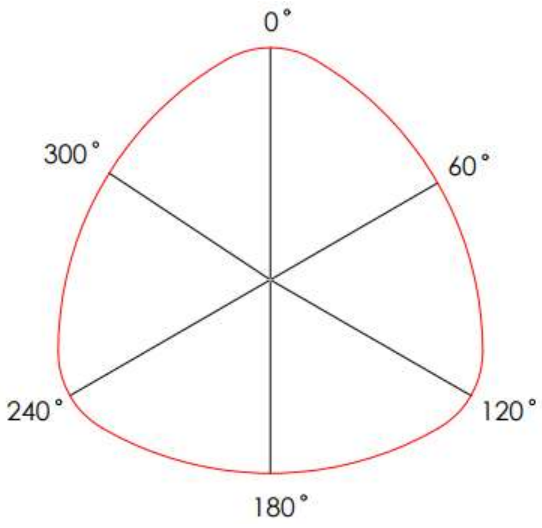
5.2. Koncept programa

Za pisanje programa korišten je obični manipulator teksta Notepad++ uz poštivanje sintakse upravljačke jedinice stroja Siemens Sinumerik 840d. Program je podijeljen na pet dijelova koji su redom:

1. Grubo glodanje poligona
2. Zaravnavanje
3. Glodanje skošenja
4. Fino glodanje poligona
5. Profiliranje brida

Grubim glodanjem poligona skida se višak materijala i ostvaruje se približan oblik poligona. Ostavlja se 0.15 mm dodatka za finu obradu. Zaravnavanje slijedi nakon grubog glodanja poligona da bi se poravnala površina brida na koju je poligon naslonjen. Zbog načina na koje je provedeno grubo glodanje mogu se pojaviti neravnine na površini koja se naslanja uz poligon koje bih smetale tijekom fine obrade poligona. Zatim slijedi glodanje skošenja od 15˚ koje je standardno na svakom poligonalnom vratilu kako bih se olakšala sama montaža vratila. Finim glodanjem brida postižemo konačne dimenzije i oblik poligona, a profiliranjem brida osiguravamo da površina koja je naslonjena na poligon bude adekvatno obrađena.

Da bih mogli koristiti jednadžbe putanje alata dobivene u poglavlju 5.1, poligon je potrebno podijeliti na 6 dijelova (slika 5.8) i za svaki dio koristiti pripadajuće jednadžbe putanje alata.



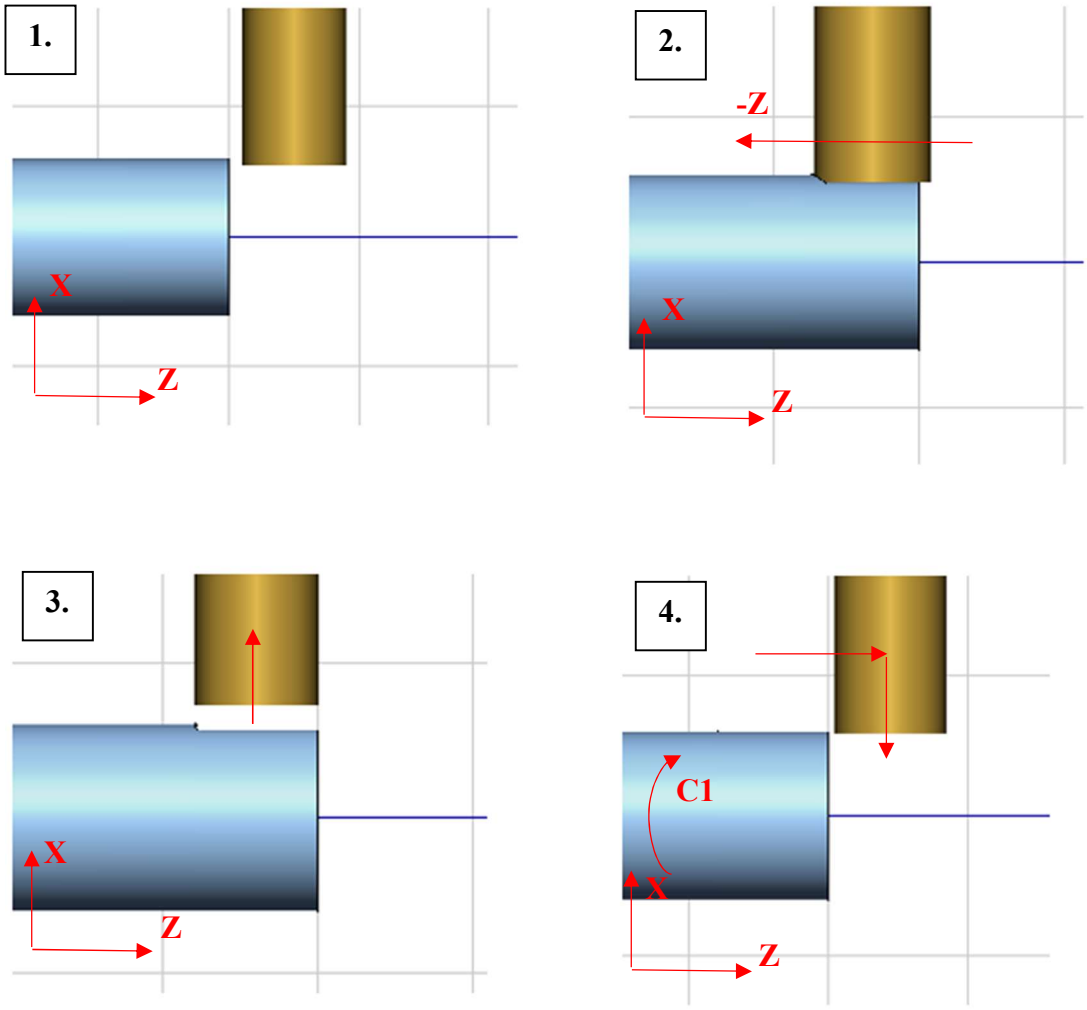
Slika 5.8 Podjela poligona

5.3. Gruba obrada

Cilj grube obrade poligona je skidanje viška materijala i postizanje približnog oblika poligona sa 0.15 mm dodatka za finu obradu. Za grubu obradu svih poligonalnih vratila koristiti će se glodalo 490-040A32-08M proizvođača SANDVIK. Glodalo je promjera 40 mm i ima četiri rezne pločice, a maksimalna dubina rezanja mu je 5.5 mm.

Slika 5.9 Glodalo korišteno za obradu poligona

Gruba obrada poligona provodi se na sljedeći način. Glodalo dolazi na zadanu poziciju ispred obratka (slika 5.10 položaj 1). X, Y i C osi ostaju nepromijenjene dok glodalo putuje duž negativnog smjera Z osi i longitudinalno obrađuje poligon (slika 5.10 položaj 2). Dolaskom do specificiranje vrijednosti osi Z, glodalo u radnom hodu vertikalno izlazi iz obratka (slika 5.10 položaj 3). Brzim hodom glodalo se zatim ponovo pozicionira u početni položaj. Za vrijeme kada glodalo putuje na početni položaj, C os okreće se u pozitivnom smjeru za određeni kut (slika 5.10 položaj 4). Zatim glodalo ponovno ulazi u materijal i postupak se ponavlja. Postupak se ponavlja sve dok C os ne napravi rotaciju od 360˚. Kod većih poligona cijeli se ciklus ponavlja nekoliko puta jer višak materijala nije moguće skinuti samo s jednim prolazom. Dubina rezanja fiksna je kod svakog prolaza i svih poligona i iznosi 1 mm.



Slika 5.10 Putanja alata tijekom grube obrade poligona

Najprije treba isprogramirati dolazak alata iz neutralnog položaja blizu početne točke obrade. Za to ćemo iskoristiti naredbu G0, odnosno brzohodno kretanje alata. Za pozicioniranje alata poslužiti ćemo se formulama 5.1, 5.2 i 5.3. Naredba za brzi hod alata glasi:

G0 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10+R71+0.15 Y=0.2305*R85-6.763 Z=30

Za poziciju X osi iskoristili smo formulu 5.1, ali smo morali promijeniti oznake parametara da odgovaraju sintaksi upravljačke jedinice Sinumerik 840d pa su korišteni sljedeći parametri:

- R56 = d_1 - ovisi o veličini poligona, očitavamo iz tablice 5.1
- R57 = e_1 - ovisi o veličini poligona, očitavamo iz tablice 5.1
- R85 = C1 - vrijednost osi C1.

U formulu 5.4 dodani je parametar R71 koji predstavlja broj prolaza alata i dodatak za obradu od 0.15 mm. Pošto se radi o brzom hodu, alat se mora zaustaviti par milimetara od obratka i ostatak puta prijeći u radnom hodu. Odlučeno je da će ta udaljenost iznostiti 10 mm pa je i to nadodano u formulu 5.4.

Da bih mogli koristiti jednadžbe putanje alata po Y osi dobivene u poglavlju 5.1, poligon je potrebno podijeliti na 6 dijelova (slika 5.8) i za svaki dio koristiti pripadajuće jednadžbe putanje alata. Zato u program dodajemo uvjet koji će provjeravati koja je pozicija C osi i ovisno o njenoj vrijednosti program navoditi na odgovarajuće jednadžbe za poziciju alata po Y osi. Gruba obrada poligona započinje s vrijednošću C osi C1 = 0 što odgovara uvjetu 0≤C1<60 iz čega slijedi jednadžba 5.2 za pozicioniranje alata po Y osi. Parametar C1 iz jednadžbe 5.2 promijenjen je u parametar R85.

Obradak se namiješta tako da se njegov kraj poklapa s vrijednosti osi Z = 0 što znači da će se obrada odvijati u negativnom smjeru Z osi. Vrijednost Z=30 iz izraza 5.4 znači da će alat zaustaviti svoj brzi hod 30 mm od obratka po Z osi.

Slijedi dio programa za grubu obradu poligona za sekciju 0≤C1<60:

```
;R85 IZMEĐU 0 I 60 STUPNJEVA
N350 IF(R85>=0) GOTOF AAGRUBO
N360   AAGRUBO:
N370      IF(R85<60) GOTOF AAAGRUBO
N380      IF(R85>=60) GOTOF ENDAAGRUBO
N390        AAAGRUBO:
N400          G0 C1=ACP(R85)
N410          G0 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10+R71+0.15 Y=0.2305*R85-6.763
N420          G0 Z=-R63+R67+5
N430          G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+R71+0.15
N440          G1 Z=-R62+R67
```

```
N450        G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10+R71+0.15
N460        G0 Z=30
N470        R85=R85+15.323
N480                IF(R85<60) GOTOB AAAGRUBO
N490                IF(R85>=60) GOTOF ENDAAGRUBO
N500  ENDAAGRUBO:
```

Linija N350 provjerava je li vrijednost C osi veća ili jednaka 0. Ovaj uvjet uvijek će biti zadovoljen pa će program uvijek započeti petljom naziva AAGRUBO. Ako je vrijednost C osi manja od 60 program skaće na petlju AAAGRUBO. Ako pak vrijednost C osi bude veća od 60 program skaće na liniju N500 i ta sekcija programa se ne izvršava. Petlja AAAGRUBO započinje pozicioniranjem nalata slično kao kod izraza 5.4, što je potrebno budući da imamo više prolaza alata. Linije N410, N420 i N430 predstavljaju pozicioniranje alata što prikazuje položaj 1 sa slike 5.10. Parametar R63 predstavlja Z koordinatu završetka vratila (većino je to 0), a R67 predstavlja radijus korištenog glodala (20 kod glodala D40). Nako pozicioniranja alata započinje obrada linijom N440. Glodalo radnim hodom dolazi do vrijednosti Z osi Z = -R62 + R67 (položaj 2 slika 5.10), gdje parametra R62 predstavlja duljinu poligona po Z osi koji se očitava iz nacrta poligona. Budući da koordinate alata predstavljaju poziciju njegovog središta, na vrijednost R62 potrebno je dodati i polumjer glodala R67 da bi dobili točnu duljinu poligona zadanu nacrtom. Glodalo vertikalno izlazi iz obratka naredbom iz linije N450 (položaj 3 slika 5.10) i brzim se hodom vraća u početni položaj. Vrijednost R85 (vrijednost C osi) povećava se za 15.323 (vrijednost preuzeta iz G koda generiranog iz gotovog SolidCAM programa). Ako je vrijednost parametra R85 manja od 60, program skaće na početak petlje AAAGRUBO (linija N390), os C1 poprima vrijednost R85 i obradak se zarotira za 15.323˚. Kada vrijednost parametra R85 prijeđe 60, program skaće na kraj petlje AAGRUBO (linija N500) i slijedi obrada sljedeće sekcije poligona kada vrijedi $60 \leq C < 120$ gdje umjesto jednadžbe 5.2 koristimo jednadžbu 5.3 za pozicioniranje alata po Y osi. Kod zadnje sekcije dogodit će se da vrijednost C osi prijeđe 360. Linija N1280 provjerava je li se dogodio taj slučaj tako da vrijednost R85 podijeli sa 360 i sprema ostatak dijeljnja u parametar R86. Kada se to dogodi, vrijednost parametra R86 biti će veća od nule i vrijednost parametra R85 smanjiti će se za 360 i program će izaći iz petlje.

```
N1280           R86=R85 DIV 360
N1290           IF(R86>0)
N1300                   R85=R85-360
N1310           ELSE
N1320                   R85=R85
```

Nako što obradimo zadnju sekciju poligona gdje je $300 \leq C < 360$, broj prolaza (parametar R71) smanjujemo za 1. Program se izvršava sve dok parametar R71 ne poprimi vrijednost 0. Program za grubu obradu poligona zapravo je petlja koja se izvršava sve dok broj prolaza ne dođe do nule.

```
N340 WHILE(R71>0)
….gruba obrada poligona….
N1370 R71=R71-1
N1380 ENDWHILE
```

Prije samog programa dodani su sljedeći parametri obrade preuzeti iz G koda gotovog SolidCAM programa:

```
N120 ; - T1 GLOD D40 /GLOD D40 D40
N130 TRANS
N140 TRAFOOF
N160 DIAMOF
N170 G0 G53 X325 Y0 D0
N180 M1
N190 ;GLOD D40
N200 T="GLOD D40" D1
```

N210 G54

N220 G19

N230 SETMS(2)

N240 DIAMOF

N250 G94 ;MM/MIN

N260 G971 F620 S2=640 M2=3

N270 G4 F2

N280 C_AXIS_ON

N290 C1=(0)

N300 G64 M7

N310 R85=0

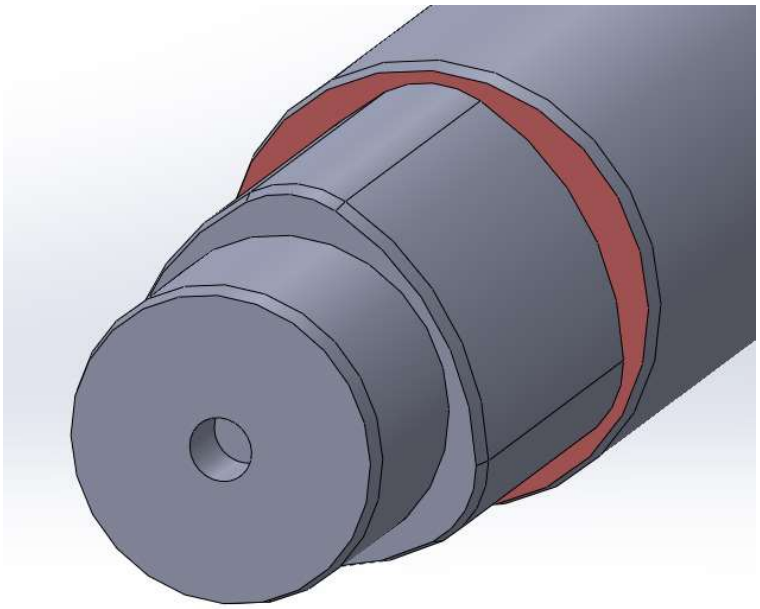
N320 R71=R66

Naredba TRANS briše sve spremljene podatke o transformaciji koordinatnog sustava prijašnjeg obratka (pomak osi, rotacija…), naredba TRAFOOF deaktivira transformaciju osi. Naredbom DIAMOF odlučujemo se za korištenje radijusa za programiranje umjesto promjera. Linija N200 sadrži naredbu za odabir alata pod nazivom „GLOD D40“ iz revolvera. G94 je naredba koja definira mjernu jedinicu posmaka mm/min [11]. Za grubu obradu poligona odabran je posmak od 620 mm/min i broj okretaja alata od 640 okr/min. Naredbom C_AXISC_ON uključujemo C os i njenu vrijednost postavljamo na nulu naredbom linije N290.

Grubo glodanje poligona završava naredbom G1 X=R58 i G1 Z=30. R58 parametar je koji predstavlja vrijednost d_2 koju očitavamo iz tablice 5.1. Tim naredbama glodalo sigurno odmičemo od obratka.

5.4. Zaravnavanje

Zaravnavanje je operacija koja se odnosi na bočnu površinu označenu crvenom bojom na slici 5.11. Zbog načina na koji se izvodi gruba obrada ta površina ostaje neadekvatno obrađena pa tom dodatnom operacijom poravnavamo eventualne neravnine i srhove nastale operacijom grubog glodanja. Te neravnine i srhovi pogotovo su izraženi na poligonima većeg kalibra. Bez operacije zaravnavanja kod poligona većih kalibra može doći do kolizije između tih neravnina i srhova i dijela alata koji nema rezne oštrice tijekom fine obrade poligona.



Slika 5.11 Površina koja se obrađuje operacijom zaravnavanja

Operaciju izvodimo sa istim glodalom kao i prethodnu operaciju grubog glodanja. Operacija zaravnavanja petlja je koja se izvodi sve dok parametar R68 ne dođe do nule. Parametar R68 predstavlja broj prolaza alata i njegova vrijednost upisuje se na početku programa. Poligoni većeg kalibra zahtijevat će i više prolaza alata. Alat brzim hodom dolazi do pozicije kada je po Z osi za 30 mm udaljen od završetka vratila. Zatim radnim hodom dolazi do dubine Z osi zadane na početku programa. Glodalo prati konturu poligona i kada obradak napravi puni krug, glodalo se za jedan milimetar približi poligonu. Slično kao i kod grubog glodanja, program se sastoji od 6 sekcija pošto pozicija alata po Y osi ovisi o kutu za koji je obradak zarotiran, odnosno C osi. Slijedi dio koda za zaravnavanje koji se odnosi na sekcije za koju vrijedi $0 \leq C < 60$:

```
N1600 G0 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+0.15+R68 Y=0.2305*R85-6.763 Z=30
N1620 WHILE(R68>0)
N1610 G1 Z=-R63-R69
;R85 IZMEĐU 0 I 60 STUPNJEVA
N1630 IF(R85>=0) GOTOF AAZAR
N1640   AAZAR:
N1650     IF(R85<60) GOTOF AAAZAR
N1660     IF(R85>=60) GOTOF ENDAAZAR
N1670       AAAZAR:
N1680         G0 C1=ACP(R85)
N1690         G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+0.15+R68 Y=0.2305*R85-6.763
N1700         R85=R85+1.713
N1710                 IF(R85<60) GOTOB AAAZAR
N1720                 IF(R85>=60) GOTOF ENDAAZAR
N1730   ENDAAZAR:
```

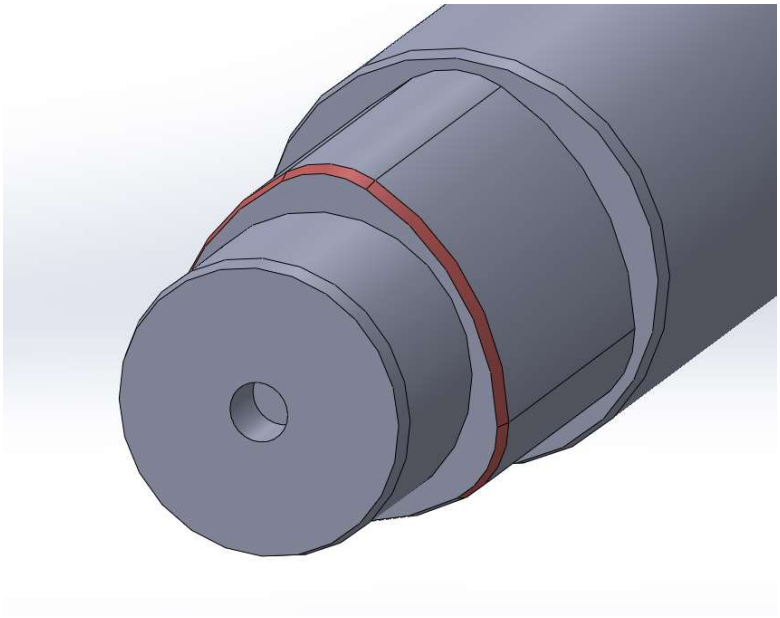
Linija N1600 govori alatu da se brzim hodom pozicionira:

- po X osi 0.15 mm + R68 * 1 mm iznad poligona
- po Y osi na stvarnu vrijednosti poligona prema jednadžbi 5.3
- po Z osi 30 mm od završetka vratila

Naredbom linije N1610 alat dolazi u točku gdje započinje obradu. Linija N1630 služi za provjeru vrijednosti C osi i ako je ona između 0˚ i 60˚ program ulazi u petlju AAAZAR. Ako je vrijednost osi C veća od 60˚, program preskače sekciju AAAZAR i nastavlja sa sljedećom sekcijom. Alat prilagođava svoju poziciju po X i Y osi naredbom iz linije N1690 ovisno o vrijednosti C osi koja se povećava za 1.713 svakim prolazom kroz petlju sve dok ne prijeđe vrijednost 60. Nakon petlji za svaku sekciju, stoji linija N2350 koja glasi R68=R68-1. Parametar R68 smanji se za 1 što rezultira približavanjem alata poligonu po X osi za 1 mm. Operacija zaravnavanja završava nakon što glodalo obradi površinu na 1 mm udaljenosti od poligona dobivenog grubim glodanjem. Parametri glodanja slični su kao kod grube obrade poligona. Posmak iznosi 500 mm/min, dok je broj okretaja alata 640 okr/min.

5.5. Glodanje skošenja

Skošenje od 15˚ dodano je na početak svakog poligona. Skošenje će kasnije olakšati montažu vratila jer cijeli poligonalni dio vratila ulazi u odgovarajući utor diska.

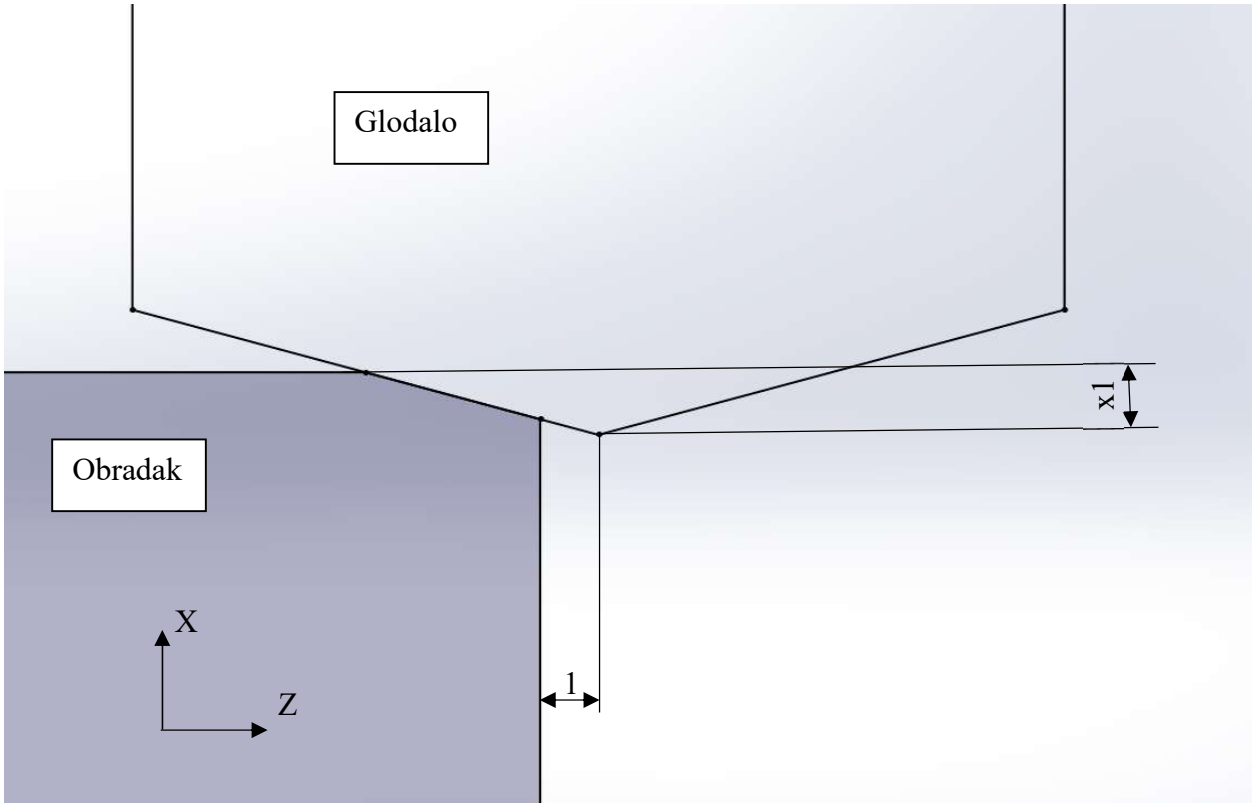


Slika 5.12 Površina koja se obrađuje operacijom glodanje skošenja

Za izradu skošenja koristi se glodalo izrađeno od tvrdog metala i presvlakom od titan aluminij nitrida sličan alatu na slici 5.13. Glodalo je promjera 16 mm i služi samo za izradu skošenja od 15˚. Glodalo se već nalazi u revolveru alata i potrebno ga je samo selektirati za što koristimo naredbu T="GLOD D16_15" gdje je „GLOD D16_15" naziv alata koji definiramo u upravljačkoj jedinici stroja.

Slika 5.13 Glodalo korišteno za izradu skošenja

Operacija glodanja skošenja slična je prijašnjoj operaciji zaravnavanja. Alat se pozicionira na rub poligona i prati njegovu konturu dok se obradak okreće. Nacrtom je definirano da skošenje treba biti duljine 3 mm pa treba izračunati koliko točno alat treba primaknuti obratku. Za uspješnu obradu skošenja želimo da nam položaj alata i obratka bude otprilike kao na slici 5.14. Ne želimo da centar alata bude točno na rubu poligona pa ćemo ga pomaknuti za 1 mm u pozitivnom smjeru osi Z. Preostaje nam još izračunati dimenziju x1 sa slike 5.14.



Slika 5.14 Udaljenost centra alata od obratka

Budući da znamo promjer glodala (16 mm), kut skošenja (15˚) i duljinu skošenja (3 mm), možemo izračunati dimenziju x1 na sljedeći način:

$$\tan(15^{\circ}) = \frac{x1}{4} \qquad (5.4)$$

iz čega slijedi da je:

$$x1 = 4 * \tan(15^{\circ}) \qquad (5.5)$$

Sada znamo točne koordinate na koje treba pozicionirati alat za izradu skošenja. Naredbom iz linije N2580 glodalo iz pozicije za promjenu alata približavamo obratku. Naredbom N2590 vrh alata po X osi točno je pozicioniran na koordinatu X osi gdje će vršiti obradu, a po Z osi udaljen je od obratka za 10 mm. Sljedećom naredbom glodalo putuje na zadanu koordinatu Z osi prilikom čega okomito ulazi u materijal čime počinje obrada skošenja.

```
N2580 G0 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10 Y=0.2305*R85-6.763-3 Z=-R63+30
N2590 G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10 Y=0.2305*R85-6.763 Z=-R63+10
N2600 G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)-4*TAN(15) Y=0.2305*R85-6.763 Z=-R63+1
```

Sljedeći dio koda odnosi se na sekciju poligona za koju vrijedi $0 \leq C < 60$. Slično kao i kod prethodne operacije, linije N2620 do N2650 služe za provjeravanje vrijednosti C osi. Vrijedi li uvjet $0 \leq C < 60$, program će ući u petlju AAABRID. Slijede naredbe za pozicioniranje alata po X i Y osi, dok vrijednost Z osi ostaje konstantna kroz cijelu operaciju izrade skošenja.

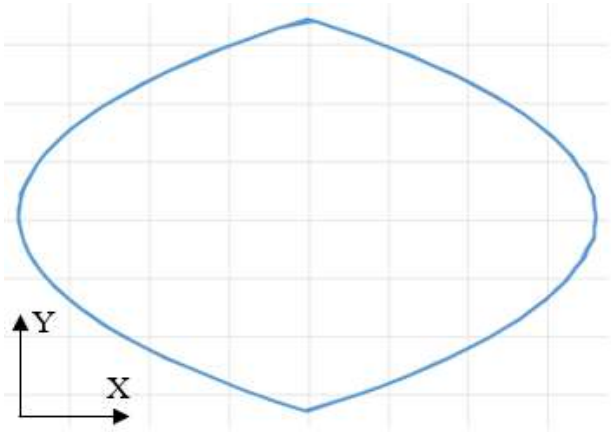
```
;R85 IZMEĐU 0 I 60 STUPNJEVA
N2620 IF(R85>=0) GOTOF AABRID
N2630    AABRID:
N2640          IF(R85<60) GOTOF AAABRID
N2650          IF(R85>=60) GOTOF ENDAABRID
N2660         AAABRID:
N2670               G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)-4*TAN(15) Y=0.2305*R85-6.763 Z=-R63+1
C1=ACP(R85)
N2680           R85=R85+1.713
N2690           IF(R85<60) GOTOB AAABRID
N2700           IF(R85>=60) GOTOF ENDAABRID
N2710    ENDAABRID:
```

Operacija traje sve dok obradak ne napravi puni krug. Alat se u radnom hodu odmiče od obratka u pozitivnom smjeru X osi do sigurne udaljenosti i operacija završava.

```
N3270 G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10 Y=0.2305*R85-6.763 Z=-R63+10
N3280 G0 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+50 Y=0.2305*R85-6.763+15 Z=-R63+30
```

5.6. Fina obrada poligona

Finom obradom poligona postižemo konačne dimenzije i oblik poligona. Obrađujemo li poligon metodom opisanom u poglavlju 5.3 (slika 5.10) koju smo koristili za grubu obradu poligona, dobivena kontura poligona neće biti prava krivulja, već će to biti n-terokut. Za postizanje potrebnog radijusa postupak smo prilagodili tako da će obradak konstantno rotirati dok će alat prilagođavati svoj položaj po X i Y osi kako bi u svakom trenutku ostao tangencijalan na obradak. Iscrtamo li putanju alata u XY ravnini, dobiti ćemo krivulju sa slike 5.15.



Slika 5.15 Putanja alata u XY ravnini tijekom fine obrade poligona

Kao i kod prethodnih operacija, kod za fino glodanje poligona podijeljen je na 6 sekcija. Najprije se provjerava vrijednost C osi i ako ona zadovoljava uvjete postavljene u linijama N3530 - N3560, počinje obrada prve sekcije poligona. Parametar R63 predstavlja Z koordinatu početka poligona, a parametar R65 je korak za koji se glodalo pomiče po Z osi prilikom svake rotacije obratka. Parametar R63 unosi se na početku programa, a određuje se iz nacrta poligonalnog vratila. Parametar R65 također je moguće mijenjati na početku programa, ali u većinu slučajeva on iznosi 0.01 mm. Koordinata Z osi na početku fine obrade poligona je parametar R63 na koju je dodana polovica promjera glodala za finu obradu. Svakom rotacijom obratka ta koordinata smanjuje se za 0.01 mm. Fina obrada poligona završava kada iznos Z koordinate bude veći ili jednak parametru R62 koji predstavlja duljinu poligona po Z osi. Kada se to dogodi, linija N3590 šalje program do linije N4320 koja predstavlja kraj fine obrade. Pozicija alata računa se u liniji N3600 po jednadžbama 5.1 i 5.2 i ovisi o vrijednosti parametra R85. Početna vrijednost parametra R85 postavljena je na nulu pa će i vrijednost C osi iznositi nula prema naredbi C1=ACP(R85). Na kraju petlje vrijednost parametra R85 povećava se za 1.713. Kada vrijednost R85 bude veća od 60,

program izlazi iz petlje AAA i ulazi u petlju BBB koja obrađuje sekciju poligona između 60˚ i 120◦ prema slici 5.8. Petlja BBB razlikuje se od petlje AAA jedino po jednadžbi prema kojoj se računa pozicija alata po Y osi. Umjesto jednadžbe 5.2, u petlji BBB koristi se jednadžba 5.3.

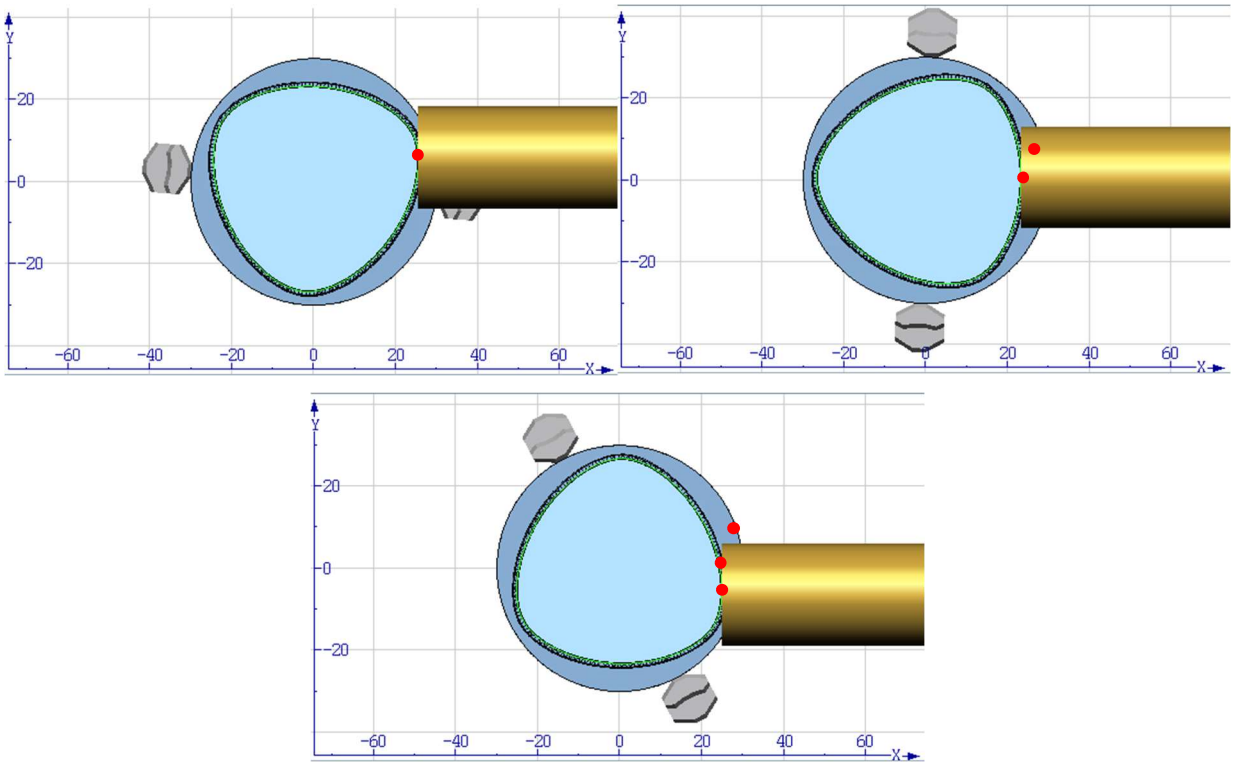
```
;R85 IZMEĐU 0 I 60 STUPNJEVA
N3530 IF(R85>=0) GOTOF AA
N3540    AA:
N3550          IF(R85<60) GOTOF AAA
N3560          IF(R85>=60) GOTOF ENDAA
N3570         AAA:
N3580               R63=R63+R65
N3590         IF(R63>=R62) GOTOF ENDGLODPOLY
N3600                        G1  X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)  Y=0.2305*R85-6.763  Z=-R63+R64
C1=ACP(R85)
N3610           R85=R85+1.713
N3620           IF(R85<60) GOTOB AAA
N3630           IF(R85>=60) GOTOF ENDAA
N3640    ENDAA:
```

Prije fine obrade poligona potrebno je promijeniti alat jer smo kod prošle operacije koristili glodalo za izradu skošenja. Alat šaljemo na poziciju za promjenu alata naredbom iz linije N3330 i odabiremo glodalo naziva „GLOD D25“ iz revolvera alata naredbom iz linije N3360.

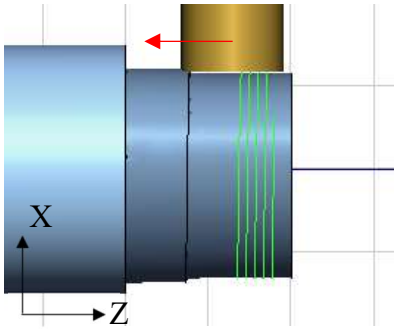
```
N3330 G0 G53 X325 Y0 D0
N3360 T="GLOD D25" D1
```

Glodalo koje se koristi za finu obradu poligona izrađeno je iz jednog komada tvrdog metala proizvođača SECO Tools. Glodalo je promjera 25 mm sa 3 rezne oštrice i pogodno je za grubo i fino glodanje. Broj okretaja alata iznosi 1500 o/min, a posmak je namješten na 700 mm/min.

Slika 5.16 Glodalo korišteno za finu obradu poligona



Slika 5.17 Položaj alata prilikom fine obrade poligona



Slika 5.18 Putanja alata prilikom fine obrade poligona u ZX ravnini

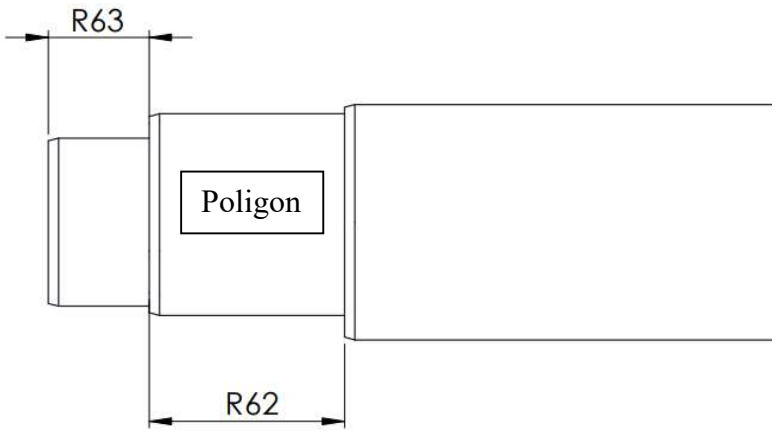
5.7. Profiliranje brida

Profiliranje brida operacija je koja se nadovezuje na operaciju finog glodanja poligona. Nakon operacije fine obrade poligona, program nastavlja s radom bez zaustavljanja alata. Operacijom profiliranja brida osiguravamo da cijela površina poligona bude obrađena tako da nakon završetka fine obrade, obradak napravi puni krug prilikom čega glodalo obrađuje površinu poligona i bočni brid na kraju poligona. Bez te operacije mali dio poligona uz bočni brid kao i dio bočnog brida ostao bi neobrađen. Operacijom zaravnavanja obradili smo dio bočnog brida, no operacija zaravnavanja završava 1 mm od samog poligona pa profiliranjem brida obrađujemo i taj zadnji milimetar bočnog brida. Kod za operaciju profiliranja brida jednak je kodu za operaciju finog glodanja poligona. Jedina razlika je što je koordinata Z osi sada fiksna i vrijednost C osi na početku programa nije namještena na nulu, nego se prenosi iz prethodne operacije. Najprije ispitujemo vrijednost C osi pri kojoj je završila operacija finog glodanja. Zatim program ulazi u jednu od 6 petlji ovisno o vrijednosti C osi i dalje nastavlja s obradom. Može se dogoditi da nakon finog glodanja vrijednost C osi iznosi npr. 200 čime bi program počeo s radom u 4. petlji, prošao kroz petlju 4, 5 i završio kada bi u 6. petlji nakon što bi vrijednost C osi prešla 360. To bi rezultiralo s time da prve 3 sekcije poligona ne budu obrađene. Da bi to spriječili, nakon što program prođe kroz prvih 6 petlji slijedi još jedan niz od 6 petlji kojim osiguravamo da svaki dio poligona uz bočni brid bude obrađen. Kada program prođe 12. petlju, alat se vertikalno odmiče od obratka čime završava operacija profiliranja brida, a s time i sam program obrade poligonalnog vratila.

5.8. Potrebni parametri za obradu

Kada smo napisali program za obradu poligonalnog vratila, potrebno je na početak programa dodati parametre koje smo koristili u programu. Parametre ćemo zapisati u posebnu datoteku u koje će operater moći unositi potrebne vrijednosti. Datoteka s parametrima biti će vidljiva operateru i nju može mijenjati dok će programski kod za obradu poligonalnog vratila biti u drugoj datoteci koja neće biti dostupna operateru. Nakon unošenja vrijednosti u datoteku operater pokreće program koji će pokrenuti datoteku s glavnim programom i prethodno zadanim parametrima. U programu su je potrebno unijeti sljedeće parametre:

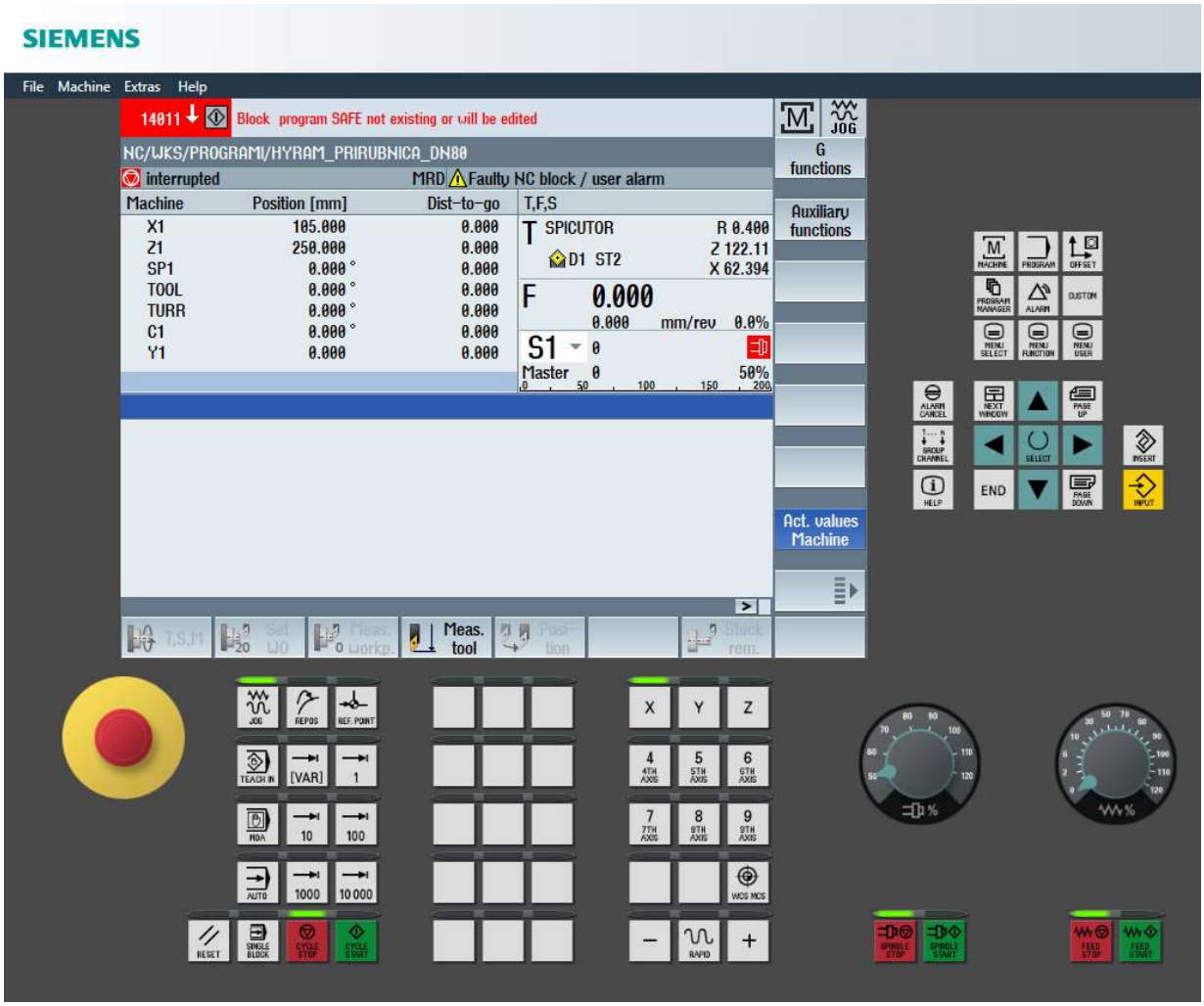
- R56 - dimenzija poligona d1 (iz tablice 5.1)
- R57 - dimenzija poligona e1 (iz tablice 5.1)
- R58 - dimenzija poligona d2 (iz tablice 5.1)
- R62 - duljina poligona po Z osi (iz nacrta)
- R63 - udaljenost početka poligona od bližeg kraja vratila (iz nacrta)
- R64 - radijus glodala za fino glodanje poligona
- R67 - radijus glodala za grubo glodanje poligona
- R69 - radijus glodala za zaravnavanja
- R65 - korak po Z osi (ostaviti 0.01mm)
- R66 - broj prolaza kod grubog glodanja (jedan prolaz = 1 mm)
- R68 - broj prolaza kod zaravnavanja (jedan prolaz = 1 mm)



Slika 5.19 Parametri R62 i R63

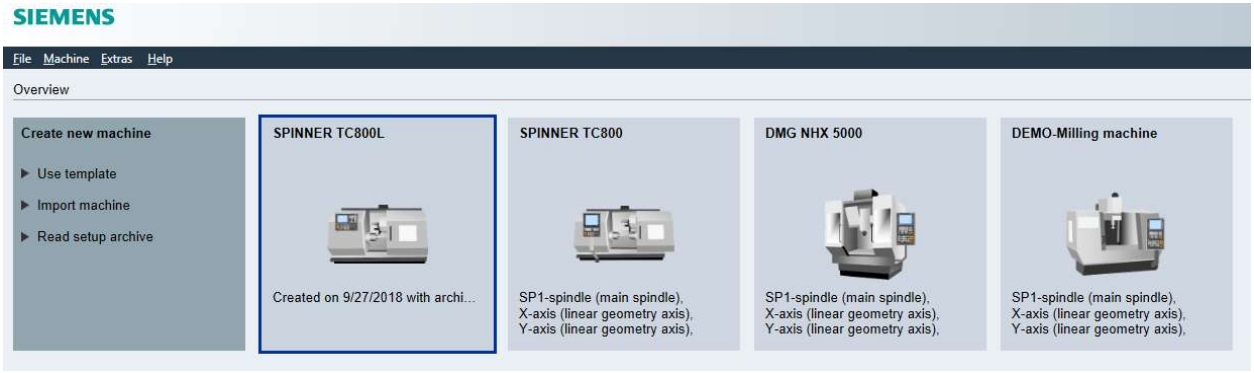
6. SIMULACIJA OBRADE POLIGONALNOG VRATILA

Simulacija obrade poligonalnog vratila pomoći će nam uočiti eventualne greške i nepravilnosti u programu. Praćenjem putanje alata možemo vidjeti dolazi li do kolizije između alata i obratka, možemo vidjeti potrebno vrijeme za obradu kao i sam rezultat obrade. Simulacije je rađena u softverskom paketu Siemens SinuTrain. SinuTrain je alat koji simulira upravljačku jedinicu CNC alatnih strojeva. Korisnicima nudi mogućnost učenja i upoznavanja sa Siemens upravljačkom jedinicom u virtualnom okruženju kroz izrade programa, ciklusa i simulacija obrade bez uporabe samog stroja. Sučelje programa SinuTrain jednako je sučelju na upravljačkoj jedinici stroja pa CNC operaterima nudi mogućnost za isprobavanje raznih funkcija bez rizika od kvara stroja. SinuTrain se često koristi za provjeru CAM programa prilikom višeosnih obrada i ostalih kompleksnih operacija.



Slika 6.1 Sučelje programa Siemens Sinutrain

Nakon pokretanja programa dočeka nas sučelje gdje dodajemo novi ili odabiremo prethodno dodani stroj koji ćemo koristiti u simulaciji. U našem slučaju to je stroj naziva „SPINNER TC800L“.



Slika 6.2 Sučelje za dodavanje stroja

Odabirom stroja ulazimo u korisničko sučelje odabranog stroja (slika 5.20). Pritiskom tipke „PROGRAM MANAGER“ ulazimo uizbornik sa popisom spremljenih programa. Tamo kreiramo novu MPF datoteku s nazivom „POLY“. Otvaranjem te datoteke dočeka nas prazan prostor za pisanje programa u kojeg zalijepimo napisani program za obradu poligonalnog vratila. Sljedeći korak je dodavanje parametara potrebnih za obradu navedenih u poglavlju 5.8. Za simulaciju je odabran poligon veličine 50 pa sukladno tome upisujemo vrijednosti potrebnih parametara:

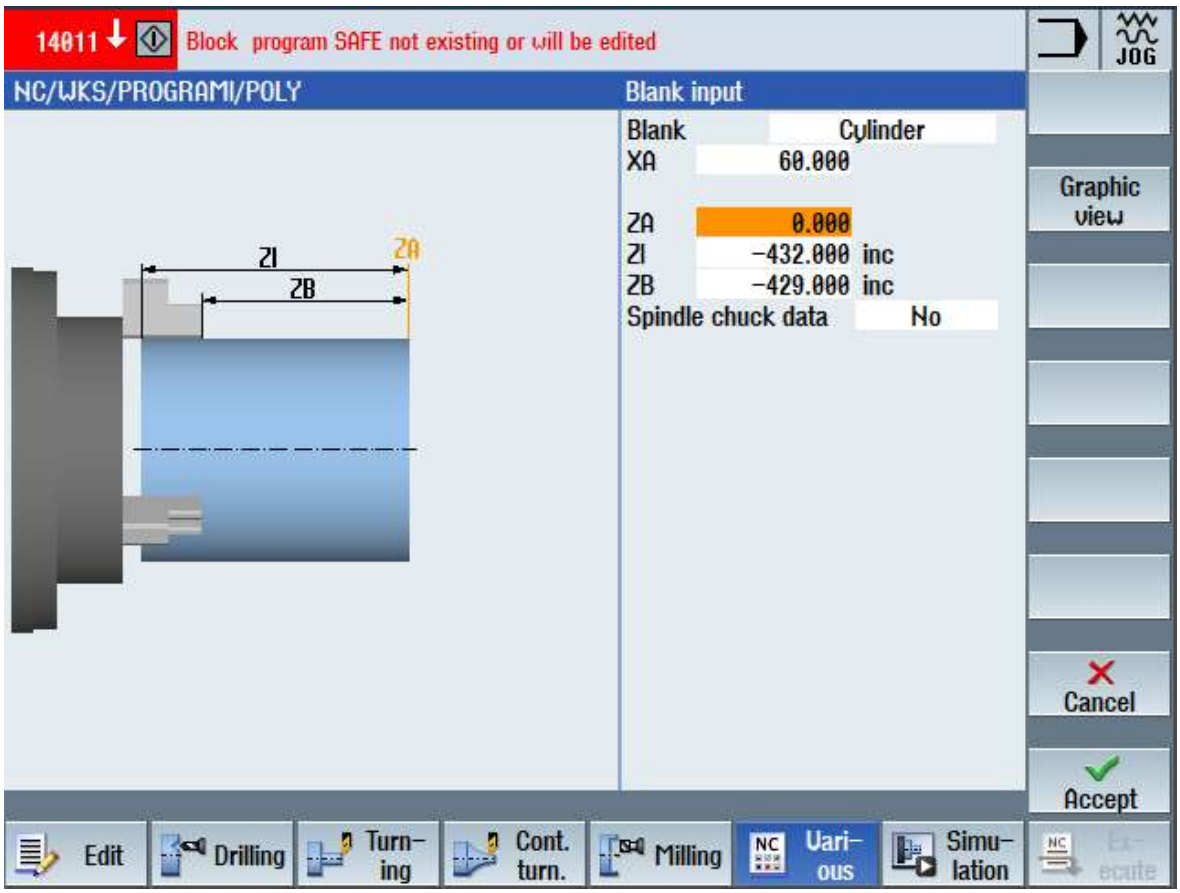
- R56 = 50 ;dimenzija poligona d1 (iz tablice 5.1)
- R57 = 1.8 ;dimenzija poligona e1 (iz tablice 5.1)
- R58 = 53.6 ;dimenzija poligona d2 (iz tablice 5.1)
- R62 = 40 ;duljina poligona po Z osi (iz nacrta)
- R63 = 0 ;udaljenost početka poligona od bližeg kraja vratila (iz nacrta)
- R64 = 12.5 ;radijus glodala za fino glodanje poligona
- R67 = 20 ;radijus glodala za grubo glodanje poligona
- R69 = 20 ;radijus glodala za zaravnavanja
- R65 = 0.01 ;korak po Z osi (ostaviti 0.01mm)
- R66 = 3 ;broj prolaza kod grubog glodanja (jedan prolaz = 1 mm)
- R68 = 2 ;broj prolaza kod zaravnavanja (jedan prolaz = 1 mm)

Znak ; označava početak komentara i sve što se nalazi iza tog znaka program neće čitati.

Da bih vidjeli rezultate obrade, prije pokretanja simulacije moramo definirati vrstu i dimenzije ulaznog materijala. To radimo pritiskom tipke „Various“ koja se nalazi u sučelju za pisanje programa i zatim odabirom opcije „Blank“ iz ponuđenog izbornika. Otvara se prozor u kojem odabiremo vrstu ulaznog materijala iz padajućeg izbornika i upisujemo njegove dimenzije u za to predviđena polja. Za vrstu ulaznog materijala odabran je cilindar. Promjer cilindra upisuje se u polje *XA* i za poligon veličine 50 iznosi 60 mm. U polje *ZA* upisuje se koordinata Z osi završetka cilindra dok u polja *Zl i ZC* upisujemo odgovarajuće duljine cilindra. Nakon što smo upisali dimenzije ulaznog materijala, u program se automatski dodaje naredba:

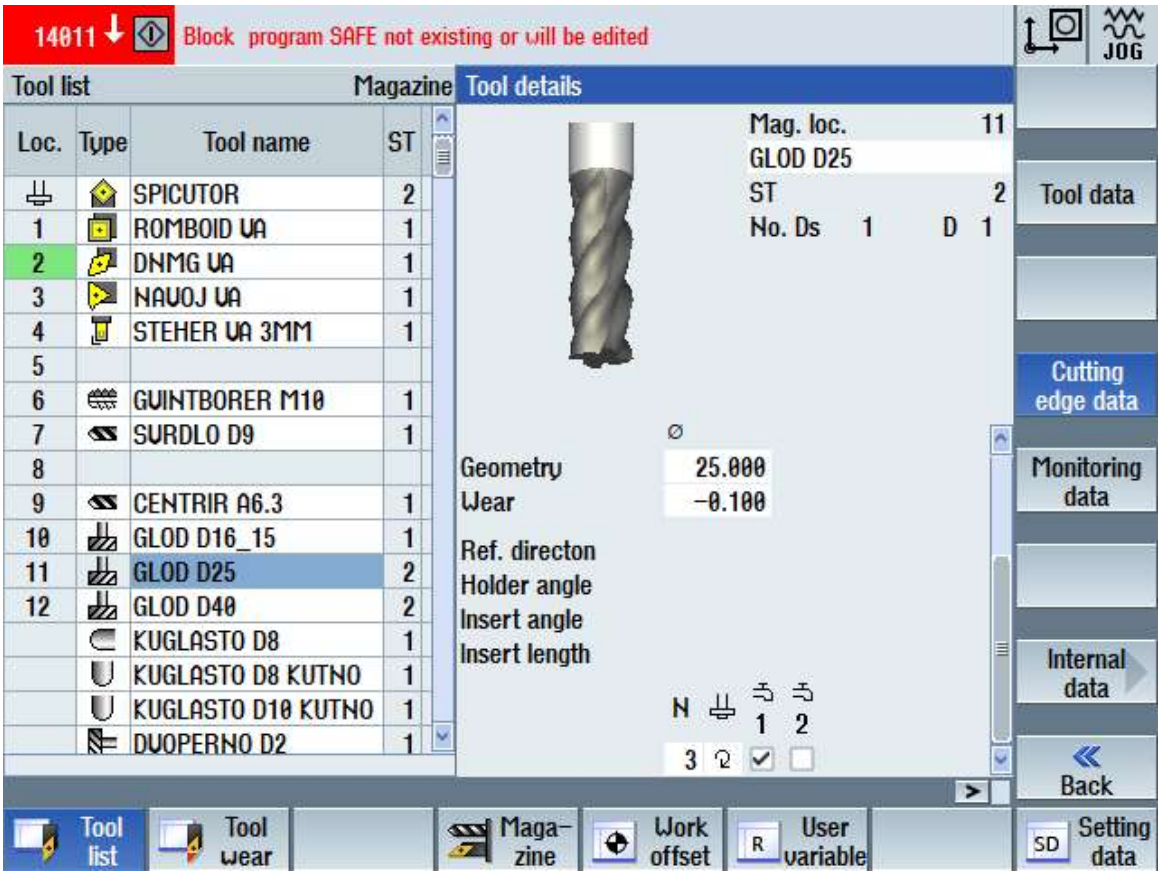
WORKPIECE(,,,"CYLINDER",0,0,-432,-429,60)

Naredba se koristi samo kod simulacije obrade i u konačnom programu nije potrebna pa zato i nije dodana.



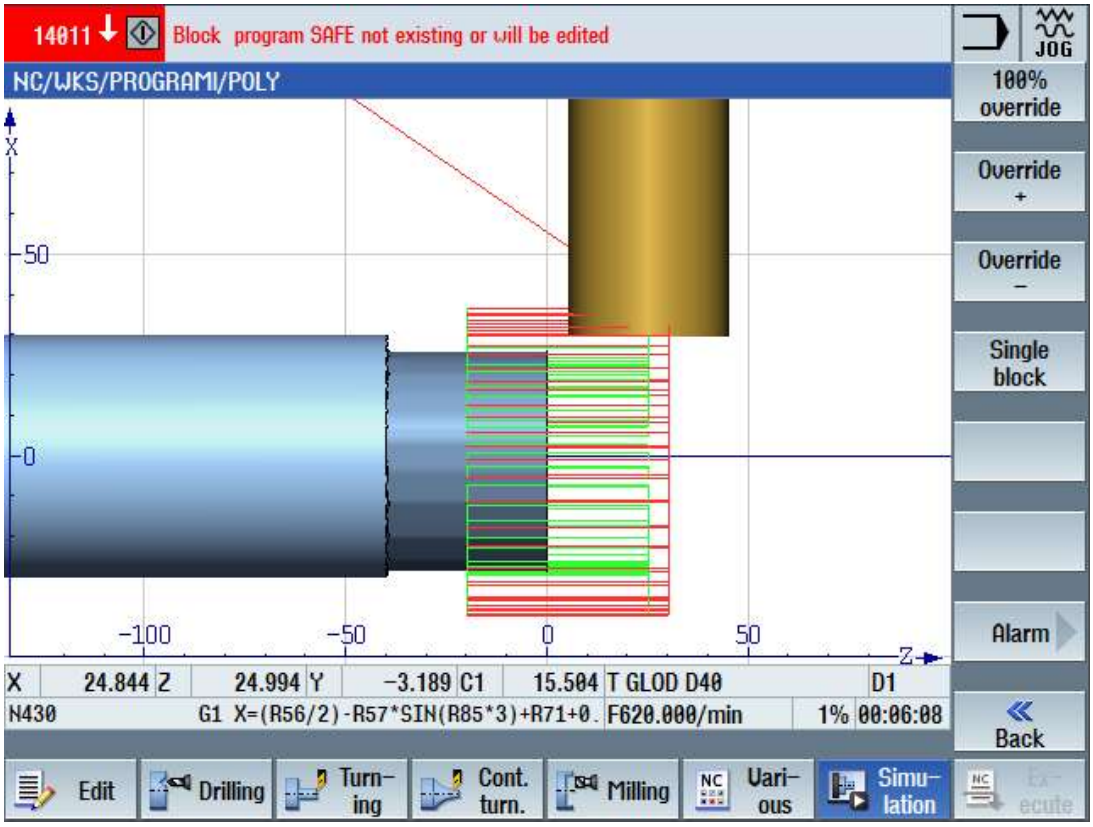
Slika 6.3 Definiranje vrste i dimenzija ulaznog materijala

Prije pokretanja simulacije potrebno je i definirati alate koje smo koristili u programu. Pritiskom na tipku „OFFSET“ otvara nam se prozor sa popisom svih prethodno definiranih alata. U ovom prozoru dodajemo nove alate u bazu, mijenjamo alate koji se nalaze u revolvera alata, a možemo i pratiti stanje korištenih alata. U programu za obradu poligonalnih vratila korištena su 3 glodala koja moramo dodati u bazu alata. Alate dodajemo pritiskom na tipku „New cutting edge“ koja otvara prozor gdje odabiremo vrstu i položaj alata (vertikalan ili horizontalan). Zatim se otvara prozor gdje upisujemo parametre alata poput: promjer, duljina alata, broj reznih oštrica, maksimalna dubina rezanja, smjer rotacije, naziv alata, potrebno hlađenje, trošenje, itd. Naziv alata mora biti isti kao i u programu ili će upravljačka jedinica javljati grešku prilikom pokretanja simulacije. Nakon dodavanja svih potrebnih alata za obradu, alate dodajemo na jednu od 12 pozicija na revolveru alata. Time alati postaju aktivni i spremni za korištenje u simulaciji.



Slika 6.4 Dodavanje alata u bazu

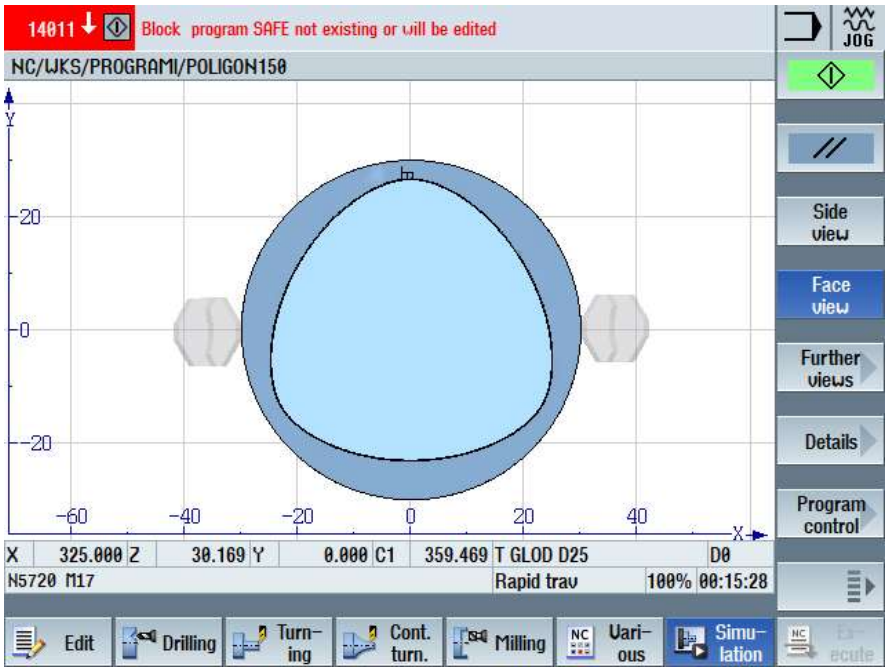
Simulaciju pokrećemo pritiskom na tipku „Simulation“ i nakon učitavanja i spremanja potrebnih parametara počinje simulacija obrade. Simulaciju možemo promatrati iz jednog od dva pogleda i po želji usporiti ili ubrzati brzinu izvođenja simulacije. Putanja alata iscrtava se crvenom i zelenom bojom gdje crvena boja predstavlja brzi hod alata, a zelena radni hod alata. Na dnu simulacije u svakom trenutku možemo vidjeti X, Y i Z koordinatu položaja alata kao i vrijednost C osi. Također vidimo i alat koji se trenutno koristi, trenutnu liniju koda, posmak kojim alat radi i poteklo vrijeme od početka obrade.



Slika 6.5 Simulacija obrade poligonalnog vratila

Nakon završetka simulacije vidimo i sam rezultat obrade vratila korištenjem napisanog programa. Korištena verzija SinuTrain programa ne podržava dodavanje glodala za glodanje skošenja pa je u simulaciji operacija glodanja skošenja opisana u poglavlju 5.5 izvedena bez alata. Na taj način operacijom glodanja skošenja nismo napravili nikakve promjene na obratku, ali će vrijeme potrebno za obavljanje te operacije biti uračunato u ukupno vrijeme obrade. Ukupno vrijeme obrade iznosi 15 min i 28 s.

Slika 6.6 Obradak nakon simulacije (pogled 1)



Slika 6.7 Obradak nakon simulacije (pogled 2)

Simulacija je nakon toga provedena i na najmanjem i najvećem poligona prema standardu iz tablice 5.1 da se provjeri ima li kolizije alata s obratkom prilikom brzog hoda alata od pozicije za promjenu alata do obratka i nakon toga program je spreman izradu probne serije.

7. ZAKLJUČAK

Moderna industrijska proizvodnja traži stalna ulaganja i modernizaciju proizvodnog pogona želimo li ostati konkurentni na tržištu. Suvremeni trendovi u industrijskoj proizvodnji su, između ostalih, smanjenje troškova i povećanje produktivnosti. CNC obradni centri javili su se kao odgovor na te trendove i obrada na jednom stroju postaje sve zastupljenija. Osim velikih ušteda na vremenu, obrada na jednom stroju pridonijela je i povećanju kvalitete proizvoda jer se eliminacijom potrebe za višestrukim stezanjem i otpuštanjem obratka smanjuju i pogreške koje mogu nastati tijekom stezanja. Poligonalno tokarenje i tokarsko glodanje postupci su obrade odvajanjem čestica koji su nastali kombiniranjem postupka tokarenja i glodanja, a cilj im je iskoristiti prednosti obrade na jednom stroju. Poligonalno tokarenje koristi se za izradu ravnih površina i poligonalnih oblika na rotacijskim dijelovima. Iako se tim postupkom ne može postići najkvalitetniju obradu površine i potpuno točan oblik površine, sama brzina izrade i mogućnost automatizacije obrade izradaka za koje bi inače trebali barem dva stroja razlozi su zašto taj postupak postaje sve zastupljeniji u proizvodnji. Tokarsko glodanje puno je fleksibilniji postupak od poligonalnog tokarenja i koristi se za izradu kompleksne geometrije poput koljenastih osovina. I dok nam primjena navedenih postupaka donosi nam značajne uštede vremena i novaca, izrada programa za poligonalno tokarenje i tokarsko glodanje kompleksnije je od programa klasičnog glodanja i tokarenja.

U to sam se i sam mogao uvjeriti prilikom izrade programa za obradu poligonalnih vratila. Izrada programa za obradu poligonalnih vratila zahtijeva znanja iz matematike, geometrije, statistike, numerike i programiranja alatnih strojeva. Najveći izazov predstavljalo je pronalaženje putanje alata tijekom obrade i zapisivanje iste u parametarskom obliku jer bi taj program trebao poslužiti za obradu 31 različite veličine poligona iz standarda DIN 32711-1. Zbog karakteristične putanje alata i potrebe da alat uvijek bude tangencijalan na obradak, poligon je bilo potrebno podijeliti na 6 sekcija i za svaku sekciju koristiti odgovarajuću jednadžbu putanje alata. Nakon izrade programa, simulacija obrade potvrdila je da će poligon izrađen korištenjem napisanog programa biti jednak poligonu izrađen korištenjem CAM programa. Taj program sprema se u upravljačku jedinicu stroja čime smo eliminirali potrebu za izradom CAM programa nakon svake nove potrebe za izradom poligonalnog vratila.

LITERATURA

[1] Siemens: „Polygon turning with SINUMERIK“, s interneta, https://www.siemens.com/global/en/markets/machinebuilding/machine-tools/cnc4you/cnc4you-videos/ttt-turn/polygon-turning.html, 08.06.2023.

[2] Schwanog: „Machining Technology: Polygon Turning“, s interneta, https://www.schwanog.com/fileadmin/user_upload/EN_Polygon_turning.pdf, 08.06.2023.

[3] CMZ: „CNC Lathe Applications: Polygon Turning“, s interneta, https://www.newtech.cz/files/produkty/CMZ/Applications/polygon_turning_cnc_lathe.pdf, 08.06.2023

[4] Katalog Horn: „Polygon Milling“, s interneta, https://www.hornusa.com/fileadmin/user_upload/usa/PDF/HORN-US-Chapters/KFRAES100US_3.2013/KFRAES100US_3.2013_ChapterJ_Polygon-Milling.pdf, 08.06.2023.

[5] Regus, M. i dr.: „Studies of polygons accuracy shaped by various methods on universal CNC turning center“, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 393, The 10th International Symposium Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering (KOD 2018) 6–8 June 2018, Novi Sad, Serbia

[6] Katalog Dieterle Tools: „Polygon Cutters“, s interneta, https://www.dieterle-tools.de/files/dieterle/source/Dieterle/Kataloge/Standard-Aussen/1-7-1_Dieterle-Kat_Polygonfraeser_20-08.pdf, 08.06.2023.

[7] Srbić, T.: „Suvremeni trendovi u obradi rotacijskih površina“, završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu 2009., https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:235:771909

[8] Klocke, F.: „Manufacturing Processes 1“, Springer, Heidelberg, 2011.

[9] Siemens: „Turn-milling with C and Y axis“, s interneta, SINUMERIK_live_turn-milling_EN.pdf, 09.06.2023.

[10] Petrilin, A.: „Turn-milling benefits“, s interneta, https://shopmetaltech.com/cutting-tools/turn-milling-benefits/, 09.06.2023.

[11] Priručnik Siemens: „SINUMERIK 840D/840Di/810D/FM-NC Programming Guide Advanced“, 04.2000 Edition

SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI

Cilj završnog rada bio je napisati program koji će omogućiti izradu poligonalnih završetaka na vratilu svih veličina prema standardu DIN 32711-1. Prije toga opisani su postupci poligonalnog tokarenja i tokarskog glodanja. Navedeni su alati koji se koriste za svaki od procesa, prednosti i nedostaci procesa i njihova primjena. Nakon usporedbe poligonalnog tokarenja i tokarskog glodanja slijedi opis postupka i tijeka izrade programa. Simulacijom obrade vratila u programskom paketu SinuTrain testiran je napisan program.

Ključne riječi: poligonalno tokarenje, tokarsko glodanje, poligon, CAM program, simulacija

SUMMARY NAD KEY WORDS

The goal of this thesis was to develop a program that would enable the production of polygonal shaft ends of various sizes according to DIN 32711-1 standard. Prior to that, the procedures of polygonal turning and turn milling were described. The tools used for each process, as well as the advantages and disadvantages of the processes alongside their applications were mentioned. After comparison between polygonal turning and turn milling, the procedure and workflow of program development were described. Program was tested by simulating the processing of the shaft in the SinuTrain software package.

Key words: polygonal turning, turn milling, ploygon, CAM programming, simulation

DODATAK A

Kompletan programski kod:

```
;TABELA JE   DIN 32711-1:2009-03
;GLODALU OBAVEZNO POVECAJ RAD.ZA 0.12 (+0.12)!!!



;TABELA JE DIN 32711-1:2009-03
;SPF
GLODALU OBAVEZNO POVECAJ RAD.ZA 0.12 (+0.12)!!!
N10 R56=50       ;UPISI D1 POLJE IZ TABELE
N20 R57=1.8      ;UPISI e1 IZ TABELE
N30 R58=53.6     ;UPISI D2 IZ TABELE
N40 R62=40       ;UPISI DUBINU PO Z IZ NACRTA
N50 R63=0        ;UPISI POCETNI Z IZ NACRTA
N60 R64=12.5     ;R GLODALA ZA FINO GLODANJE POLIGONA
N70 R67=20       ;R GLODALA ZA GRUBO GLODANJE POLIGONA
N80 R69=20       ;R GLODALA ZA ZARAVNAVANJE
N90 R65=0.01     ;KORAK FIXNO-ALI U SLUCAJU DA TREBA SMANJITI ILI POVECATI
MNOŽI SE S 8
            ;PRIMJER: 0.18 JE KORAK PO KRUGU 1.44mm (0.18*8=1.44)
N100 R66=4       ;BROJ PROLAZA KOD GRUBOG GLODANJA POLIGONA
N110 R68=2       ;BROJ PROLAZA KOD ZARAVNAVANJA

PROC L_POLY DISPLOF
```

;;;;;;;;;;**********;;;;;;;;;;;;**********;;;;;;;;

```
;;;;;;;;;;GLOD.POLY GRUBO;;;;;;;;;;

N120 ; - T1 GLOD D40 /GLOD D40 D40
N130 TRANS
N140 TRAFOOF
N160 DIAMOF
N170 G0 G53 X325 Y0 D0
N180 M1
N190 ;GLOD D40
N200 T="GLOD D40" D1
N210 G54
N220 G19
N230 SETMS(2)
N240 DIAMOF
N250 G94 ;MM/MIN
N260 G971 F620 S2=640 M2=3
N270 G4 F2
N280 C_AXIS_ON
N290 C1=(0)
N300 G64 M7
N310 R85=0
N320 R71=R66

N330 G0 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10+R71+0.15 Y=0.2305*R85-6.763 Z=30

N340 WHILE(R71>0)

;R85 IZMEĐU 0 I 60 STUPNJEVA
N350 IF(R85>=0) GOTOF AAGRUBO
N360   AAGRUBO:
N370      IF(R85<60) GOTOF AAAGRUBO
```

```
N380    IF(R85>=60) GOTOF ENDAAGRUBO
N390      AAAGRUBO:
N400        G0 C1=ACP(R85)
N410        G0 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10+R71+0.15 Y=0.2305*R85-6.763
N420        G0 Z=-R63+R67+5
N430        G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+R71+0.15
N440        G1 Z=-R62+R67
N450        G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10+R71+0.15
N460        G0 Z=30
N470        R85=R85+15.323
N480                IF(R85<60) GOTOB AAAGRUBO
N490                IF(R85>=60) GOTOF ENDAAGRUBO
N500  ENDAAGRUBO:


;R85 IZMEĐU 60 I 120 STUPNJEVA
N510 IF(R85>=60) GOTOF BBGRUBO
N520  BBGRUBO:
N530    IF(R85<120) GOTOF BBBGRUBO
N540    IF(R85>=120) GOTOF ENDBBGRUBO
N550      BBBGRUBO:
N560            G0 C1=ACP(R85)
N570        G0 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10+R71+0.15 Y=-0.229*R85+20.771
N580        G0 Z=-R63+R67+5
N590        G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+R71+0.15
N600        G1 Z=-R62+R67
N610        G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10+R71+0.15
N620        G0 Z=30
N630        R85=R85+15.323
N640                IF(R85<120) GOTOB BBBGRUBO
N650                IF(R85>=120) GOTOF ENDBBGRUBO
N660  ENDBBGRUBO:
```

```
;R85 IZMEĐU 120 I 180 STUPNJEVA
N670 IF(R85>=120) GOTOF CCGRUBO
N680   CCGRUBO:
N690     IF(R85>180) GOTOF CCCGRUBO
N700     IF(R85>=180) GOTOF ENDCCGRUBO
N710       CCCGRUBO:
N720             G0 C1=ACP(R85)
N730         G0 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10+R71+0.15 Y=0.2305*(R85-120)-6.763
N740         G0 Z=-R63+R67+5
N750         G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+R71+0.15
N760         G1 Z=-R62+R67
N770         G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10+R71+0.15
N780         G0 Z=30
N790         R85=R85+15.323
N800                 IF(R85<180) GOTOB CCCGRUBO
N810                 IF(R85>=180) GOTOF ENDCCGRUBO
N820   ENDCCGRUBO:


;R85 IZMEĐU 180 I 240 STUPNJEVA
N830 IF(R85>=180) GOTOF DDGRUBO
N840   DDGRUBO:
N850     IF(R85<240) GOTOF DDDGRUBO
N860     IF(R85>=240) GOTOF ENDDDGRUBO
N870       DDDGRUBO:
N880             G0 C1=ACP(R85)
N890         G0 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10+R71+0.15 Y=-0.229*(R85-120)+20.771
N900         G0 Z=-R63+R67+5
N910         G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+R71+0.15
N920         G1 Z=-R62+R67
N930         G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10+R71+0.15
N940         G0 Z=30
```

```
N950          R85=R85+15.323
N960                    IF(R85<240) GOTOB DDDGRUBO
N970                    IF(R85>=240) GOTOF ENDDDGRUBO
N980   ENDDDGRUBO:


;R85 IZMEĐU 240 I 300 STUPNJEVA
N990 IF(R85>=240) GOTOF EEGRUBO
N1000   EEGRUBO:
N1010     IF(R85<300) GOTOF EEEGRUBO
N1020     IF(R85>=300) GOTOF ENDEEGRUBO
N1030       EEEGRUBO:
N1040            G0 C1=ACP(R85)
N1050         G0 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10+R71+0.15 Y=0.2305*(R85-240)-6.763
N1060         G0 Z=-R63+R67+5
N1070         G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+R71
N1080         G1 Z=-R62+R67
N1090         G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10+R71+0.15
N1100         G0 Z=30
N1110         R85=R85+15.323
N1120                   IF(R85<300) GOTOB EEEGRUBO
N1130                   IF(R85>=300) GOTOF ENDEEGRUBO
N1140   ENDEEGRUBO:


;R85 IZMEĐU 300 I 360 STUPNJEVA
N1150 IF(R85>=300) GOTOF FFGRUBO
N1160   FFGRUBO:
N1170     IF(R85<360) GOTOF FFFGRUBO
N1180     IF(R85>=360) GOTOF ENDFFGRUBO
N1190       FFFGRUBO:
N1200            G0 C1=ACP(R85)
N1210         G0 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10+R71+0.15 Y=-0.229*(R85-240)+20.771
```

```
N1220          G0 Z=-R63+R67+5
N1230          G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+R71
N1240          G1 Z=-R62+R67
N1250          G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10+R71+0.15
N1260          G0 Z=30
N1270          R85=R85+15.323
N1280                  R86=R85 DIV 360
N1290                  IF(R86>0)
N1300                          R85=R85-360
N1310                  ELSE
N1320                          R85=R85
N1330                  ENDIF
N1340                  IF(R85>=300) GOTOB FFFGRUBO
N1350                  IF(R85<300) GOTOF ENDFFGRUBO
N1360   ENDFFGRUBO:

N1370 R71=R71-1
N1380 ENDWHILE

N1390 G1 X=R58
N1400 G0 Z=30



;;;;;;;;;;ZARAVNAVANJE;;;;;;;;;;


N1410 ; - T1 GLOD D40 /GLOD D40 D40
N1420 TRANS
N1430 TRAFOOF
N1440 DIAMOF
N1450 G0 G53 X325 Y0 D0
N1460 M1
N1470 ;GLOD D40
```

```
N1480 T="GLOD D40" D1
N1490 G54
N1500 G19
N1510 SETMS(2)
N1520 DIAMOF
N1530 G94 ;MM/MIN
N1540 G971 F500 S2=640 M2=3
N1550 G4 F2
N1560 C_AXIS_ON
N1570 C1=(0)
N1580 G64 M7
N1590 R85=0

N1600 G0 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+0.15+R68 Y=0.2305*R85-6.763 Z=30

N1620 WHILE(R68>0)

N1610 G1 Z=-R63-R69

;R85 IZMEĐU 0 I 60 STUPNJEVA
N1630 IF(R85>=0) GOTOF AAZAR
N1640   AAZAR:
N1650     IF(R85<60) GOTOF AAAZAR
N1660     IF(R85>=60) GOTOF ENDAAZAR
N1670       AAAZAR:
N1680         G0 C1=ACP(R85)
N1690         G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+0.15+R68 Y=0.2305*R85-6.763
N1700         R85=R85+1.713
N1710                 IF(R85<60) GOTOB AAAZAR
N1720                 IF(R85>=60) GOTOF ENDAAZAR
N1730   ENDAAZAR:
```

```
;R85 IZMEĐU 60 I 120 STUPNJEVA
N1740 IF(R85>=60) GOTOF BBZAR
N1750   BBZAR:
N1760     IF(R85<120) GOTOF BBBZAR
N1770     IF(R85>=120) GOTOF ENDBBZAR
N1780       BBBZAR:
N1790         G0 C1=ACP(R85)
N1800         G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+0.15+R68 Y=-0.229*R85+20.771
N1810         R85=R85+1.713
N1820                 IF(R85<120) GOTOB BBBZAR
N1830                 IF(R85>=120) GOTOF ENDBBZAR
N1840   ENDBBZAR:


;R85 IZMEĐU 120 I 180 STUPNJEVA
N1850 IF(R85>=120) GOTOF CCZAR
N1860   CCZAR:
N1870     IF(R85<180) GOTOF CCCZAR
N1880     IF(R85>=180) GOTOF ENDCCZAR
N1890       CCCZAR:
N1900         G0 C1=ACP(R85)
N1910         G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+0.15+R68 Y=0.2305*(R85-120)-6.763
N1920         R85=R85+1.713
N1930                 IF(R85<180) GOTOB CCCZAR
N1940                 IF(R85>=180) GOTOF ENDCCZAR
N1950   ENDCCZAR:


;R85 IZMEĐU 180 I 240 STUPNJEVA
N1960 IF(R85>=180) GOTOF DDZAR
N1970   DDZAR:
N1980     IF(R85<240) GOTOF DDDZAR
N1990     IF(R85>=240) GOTOF ENDDDZAR
```

```
N2000       DDDZAR:
N2010         G0 C1=ACP(R85)
N2020         G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+0.15+R68 Y=-0.229*(R85-120)+20.771
N2030         R85=R85+1.713
N2040                 IF(R85<240) GOTOB DDDZAR
N2050                 IF(R85>=240) GOTOF ENDDDZAR
N2060   ENDDDZAR:


;R85 IZMEĐU 240 I 300 STUPNJEVA
N2070 IF(R85>=240) GOTOF EEZAR
N2080   EEZAR:
N2090     IF(R85<300) GOTOF EEEZAR
N2100     IF(R85>=300) GOTOF ENDEEZAR
N2110       EEEZAR:
N2120         G0 C1=ACP(R85)
N2130         G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+0.15+R68 Y=0.2305*(R85-240)-6.763
N2140         R85=R85+1.713
N2150                 IF(R85<300) GOTOB EEEZAR
N2160                 IF(R85>=300) GOTOF ENDEEZAR
N2170   ENDEEZAR:


;R85 IZMEĐU 300 I 360 STUPNJEVA
N2180 IF(R85>=300) GOTOF FFZAR
N2190   FFZAR:
N2200     IF(R85<360) GOTOF FFFZAR
N2210     IF(R85>=360) GOTOF ENDFFZAR
N2220       FFFZAR:
N2230         G0 C1=ACP(R85)
N2240         G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+0.15+R68 Y=-0.229*(R85-240)+20.771
N2250         R85=R85+1.713
N2260           R86=R85 DIV 360
```

```
N2270                IF(R86>0)
N2280                        R85=R85-360
N2290                ELSE
N2300                        R85=R85
N2310                ENDIF
N2320                IF(R85>=300) GOTOB FFFZAR
N2330                IF(R85<300) GOTOF ENDFFZAR
N2340   ENDFFZAR:

G1 Z=-R63-R69+10

N2350 R68=R68-1
N2360 ENDWHILE


N2370 G1 X=R58
N2380 G0 Z=30

;;;;;;;;;;GLOD.BRIDA (KOSINA 15 STUPNJEVA);;;;;;;;;;


N2390 ; - T2 GLOD D16-15 /GLOD D16_15 D16
N2400 TRANS
N2410 TRAFOOF
N2420 DIAMOF
N2430 G0 G53 X325 Y0 D0
N2440 M1
N2450 ;GLOD D16-15
N2460 T="GLOD D16_15" D1
N2470 G54
N2480 G19
N2490 SETMS(2)
N2500 DIAMOF
```

```
N2510 G94 ;MM/MIN
N2520 G971 F850 S2=1350 M2=3
N2530 G4 F2
N2540 C_AXIS_ON
N2550 C1=(0)
N2560 G64 M7
N2570 R85=0

N2580 G0 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10 Y=0.2305*R85-6.763-3 Z=-R63+30
N2590 G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10 Y=0.2305*R85-6.763 Z=-R63+10
N2600 G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)-4*TAN(15) Y=0.2305*R85-6.763 Z=-R63+1
N2610 G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)-4*TAN(15) Y=0.2305*R85-6.763 Z=-R63+1

;R85 IZMEĐU 0 I 60 STUPNJEVA
N2620 IF(R85>=0) GOTOF AABRID
N2630    AABRID:
N2640          IF(R85<60) GOTOF AAABRID
N2650          IF(R85>=60) GOTOF ENDAABRID
N2660         AAABRID:
N2670               G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)-4*TAN(15) Y=0.2305*R85-6.763 Z=-R63+1
C1=ACP(R85)
N2680           R85=R85+1.713
N2690           IF(R85<60) GOTOB AAABRID
N2700           IF(R85>=60) GOTOF ENDAABRID
N2710    ENDAABRID:


;R85 IZMEĐU 60 I 120 STUPNJEVA
N2720 IF(R85>=60) GOTOF BBBRID
N2730    BBBRID:
N2740          IF(R85<120) GOTOF BBBBRID
N2750              IF(R85>=120) GOTOF ENDBBBRID
N2760                BBBBRID:
```

```
N2770          G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)-4*TAN(15) Y=-0.229*R85+20.771 Z=-R63+1
C1=ACP(R85)
N2780          R85=R85+1.713
N2790          IF(R85<120) GOTOB BBBBRID
N2800          IF(R85>=120) GOTOF ENDBBBRID
N2810   ENDBBBRID:


;R85 IZMEĐU 120 I 180 STUPNJEVA
N2820 IF(R85>=120) GOTOF CCBRID
N2830   CCBRID:
N2840        IF(R85<180) GOTOF CCCBRID
N2850           IF(R85>=180) GOTOF ENDCCBRID
N2860            CCCBRID:
N2870           G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)-4*TAN(15) Y=0.2305*(R85-120)-6.763 Z=-
R63+1 C1=ACP(R85)
N2880          R85=R85+1.713
N2890          IF(R85<180) GOTOB CCCBRID
N2900          IF(R85>=180) GOTOF ENDCCBRID
N2910   ENDCCBRID:


;R85 IZMEĐU 180 I 240 STUPNJEVA:
N2920 IF(R85>=180) GOTOF DDBRID
N2930   DDBRID:
N2940        IF(R85<240) GOTOF DDDBRID
N2950           IF(R85>=240) GOTOF ENDDDBRID
N2960            DDDBRID:
N2970           G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)-4*TAN(15) Y=-0.229*(R85-120)+20.771 Z=-
R63+1 C1=ACP(R85)
N2980          R85=R85+1.713
N2990          IF(R85<240) GOTOB DDDBRID
N3000          IF(R85>=240) GOTOF ENDDDBRID
N3010   ENDDDBRID:
```

```
;R85 IZMEĐU 240 I 300 STUPNJEVA
N3020 IF(R85>=240) GOTOF EEBRID
N3030    EEBRID:
N3040     IF(R85<300) GOTOF EEEBRID
N3050        IF(R85>=300) GOTOF ENDEEBRID
N3060              EEEBRID:
N3070              G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)-4*TAN(15) Y=0.2305*(R85-240)-6.763 Z=-
R63+1 C1=ACP(R85)
N3080         R85=R85+1.713
N3090         IF(R85<300) GOTOB EEEBRID
N3100         IF(R85>=300) GOTOF ENDEEBRID
N3110    ENDEEBRID:


;R85 IZMEĐU 300 I 360 STUPNJEVA:
N3120 IF(R85>=300) GOTOF FFBRID
N3130    FFBRID:
N3140         IF(R85<=360) GOTOF FFFBRID
N3150              FFFBRID:
N3160            G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)-4*TAN(15) Y=-0.229*(R85-240)+20.771 Z=-
R63+1 C1=ACP(R85)
N3170         R85=R85+1.713
N3180         R86=R85 DIV 360
N3190         IF(R86>0)
N3200         R85=R85-360
N3210         ELSE
N3220         R85=R85
N3230         ENDIF
N3240         IF(R85>=300) GOTOB FFFBRID
N3250         IF(R85<300) GOTOF ENDFFBRID
N3260    ENDFFBRID:
```

```
N3270 G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+10 Y=0.2305*R85-6.763 Z=-R63+10
N3280 G0 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)+50 Y=0.2305*R85-6.763+15 Z=-R63+30


;;;;;;;;;;;GLOD.POLY FINO;;;;;;;;;;


N3290 ; - T3 GLOD DDD5 /GLOD DDD5 DDD5
N3300 TRANS
N3310 TRAFOOF
N3320 DIAMOF
N3330 G0 G53 X325 Y0 D0
N3340 M1
N3350 ;GLOD D25
N3360 T="GLOD D25" D1
N3370 G54
N3380 G19
N3390 SETMS(2)
N3400 DIAMOF
N3410 G94 ;MM/MIN
N3420 G971 F700 S2=1500 M2=3
N3430 G4 F2
N3440 C_AXIS_ON
N3450 C1=(0)
N3460 G64 M7

N3470 R85=0 ;R85 JE KUT C1

;ULAZ
N3480 G0 X=R58+10 Y=0.2305*R85-6.763 Z=R63+50+R64
N3490 G0 X=R58+10 Y=0.2305*R85-6.763 Z=R63+20+R64
N3500 G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3) Y=0.2305*R85-6.763 Z=R63+20+R64
```

```
N3510 G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3) Y=0.2305*R85-6.763 Z=R63+R64


N3520 GLODPOLY:


;R85 IZMEĐU 0 I 60 STUPNJEVA
N3530 IF(R85>=0) GOTOF AA
N3540    AA:
N3550          IF(R85<60) GOTOF AAA
N3560          IF(R85>=60) GOTOF ENDAA
N3570         AAA:
N3580               R63=R63+R65
N3590         IF(R63>=R62) GOTOF ENDGLODPOLY
N3600                        G1  X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)  Y=0.2305*R85-6.763  Z=-R63+R64
C1=ACP(R85)
N3610           R85=R85+1.713
N3620           IF(R85<60) GOTOB AAA
N3630           IF(R85>=60) GOTOF ENDAA
N3640    ENDAA:


;R85 IZMEĐU 60 I 120 STUPNJEVA
N3650 IF(R85>=60) GOTOF BB
N3660    BB:
N3670          IF(R85<120) GOTOF BBB
N3680             IF(R85>=120) GOTOF ENDBB
N3690               BBB:
N3700           R63=R63+R65
N3710         IF(R63>=R62) GOTOF ENDGLODPOLY
N3720                       G1  X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)  Y=-0.229*R85+20.771  Z=-R63+R64
C1=ACP(R85)
N3730           R85=R85+1.713
N3740           IF(R85<120) GOTOB BBB
N3750           IF(R85>=120) GOTOF ENDBB
```

```
N3760    ENDBB:


;R85 IZMEĐU 120 I 180 STUPNJEVA
N3770 IF(R85>=120) GOTOF CC
N3780    CC:
N3790          IF(R85<180) GOTOF CCC
N3800             IF(R85>=180) GOTOF ENDCC
N3810                CCC:
N3820           R63=R63+R65
N3830           IF(R63>=R62) GOTOF ENDGLODPOLY
N3840                 G1  X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)  Y=0.2305*(R85-120)-6.763  Z=-R63+R64
C1=ACP(R85)
N3850           R85=R85+1.713
N3860           IF(R85<180) GOTOB CCC
N3870           IF(R85>=180) GOTOF ENDCC
N3880    ENDCC:


;R85 IZMEĐU 180 I 240 STUPNJEVA:
N3890 IF(R85>=180) GOTOF DD
N3900   DD:
N3910         IF(R85<240) GOTOF DDD
N3920            IF(R85>=240) GOTOF ENDDD
N3930               DDD:
N3940           R63=R63+R65
N3950           IF(R63>=R62) GOTOF ENDGLODPOLY
N3960                 G1  X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)  Y=-0.229*(R85-120)+20.771  Z=-R63+R64
C1=ACP(R85)
N3970           R85=R85+1.713
N3980           IF(R85<240) GOTOB DDD
N3990           IF(R85>=240) GOTOF ENDDD
N4000   ENDDD:
```

```
;R85 IZMEĐU 240 I 300 STUPNJEVA
N4010 IF(R85>=240) GOTOF EE
N4020    EE:
N4030     IF(R85<300) GOTOF EEE
N4040         IF(R85>=300) GOTOF ENDEE
N4050               EEE:
N4060             R63=R63+R65
N4070          IF(R63>=R62) GOTOF ENDGLODPOLY
N4080                G1  X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)  Y=0.2305*(R85-240)-6.763  Z=-R63+R64
C1=ACP(R85)
N4090          R85=R85+1.713
N4100          IF(R85<300) GOTOB EEE
N4110          IF(R85>=300) GOTOF ENDEE
N4120    ENDEE:


;R85 IZMEĐU 300 I 360 STUPNJEVA:
N4130 IF(R85>=300) GOTOF FF
N4140    FF:
N4150         IF(R85<=360) GOTOF FFF
N4160               FFF:
N4170          R63=R63+R65
N4180          IF(R63>=R62) GOTOF ENDGLODPOLY
N4190               G1  X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)  Y=-0.229*(R85-240)+20.771  Z=-R63+R64
C1=ACP(R85)
N4200          R85=R85+1.713
N4210          R86=R85 DIV 360
N4220          IF(R86>0)
N4230          R85=R85-360
N4240          ELSE
N4250          R85=R85
N4260          ENDIF
N4270          IF(R85>=300) GOTOB FFF
```

```
N4280          IF(R85<300) GOTOF ENDFF
N4290    ENDFF:

N4300 IF(R63<R62) GOTOB GLODPOLY
N4310 IF(R63>R62) GOTOF ENDGLODPOLY
N4320 ENDGLODPOLY:



;;;;;PROFILIRANJE BRIDA;;;;;



;R85 IZMEĐU 0 I 60 STUPNJEVA
N4330 IF(R85>=0) GOTOF AAZ
N4340    AAZ:
N4350          IF(R85<60) GOTOF AAAZ
N4360          IF(R85>=60) GOTOF ENDAAZ
N4370         AAAZ:
N4380                        G1  X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)  Y=0.2305*R85-6.763  Z=-R62+R64
C1=ACP(R85)
N4390           R85=R85+1.713
N4400           IF(R85<60) GOTOB AAAZ
N4410           IF(R85>=60) GOTOF ENDAAZ
N4420    ENDAAZ:



;R85 IZMEĐU 60 I 120 STUPNJEVA
N4430 IF(R85>=60) GOTOF BBZ
N4440    BBZ:
N4450          IF(R85<120) GOTOF BBBZ
N4460             IF(R85>=120) GOTOF ENDBBZ
N4470               BBBZ:
N4480                     G1  X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)  Y=-0.229*R85+20.771  Z=-R62+R64
C1=ACP(R85)
N4490          R85=R85+1.713
```

```
N4500          IF(R85<120) GOTOB BBBZ
N4510          IF(R85>=120) GOTOF ENDBBZ
N4520    ENDBBZ:


;R85 IZMEĐU 120 I 180 STUPNJEVA
N4530 IF(R85>=120) GOTOF CCZ
N4540    CCZ:
N4550         IF(R85<180) GOTOF CCCZ
N4560            IF(R85>=180) GOTOF ENDCCZ
N4570              CCCZ:
N4580               G1  X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)  Y=0.2305*(R85-120)-6.763  Z=-R62+R64
C1=ACP(R85)
N4590          R85=R85+1.713
N4600          IF(R85<180) GOTOB CCCZ
N4610          IF(R85>=180) GOTOF ENDCCZ
N4620    ENDCCZ:


;R85 IZMEĐU 180 I 240 STUPNJEVA:
N4630 IF(R85>=180) GOTOF DDZ
N4640   DDZ:
N4650        IF(R85<240) GOTOF DDDZ
N4660           IF(R85>=240) GOTOF ENDDDZ
N4670             DDDZ:
N4680              G1  X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)  Y=-0.229*(R85-120)+20.771  Z=-R62+R64
C1=ACP(R85)
N4690          R85=R85+1.713
N4700          IF(R85<240) GOTOB DDDZ
N4710          IF(R85>=240) GOTOF ENDDDZ
N4720   ENDDDZ:


;R85 IZMEĐU 240 I 300 STUPNJEVA
```

```
N4730 IF(R85>=240) GOTOF EEZ
N4740    EEZ:
N4750     IF(R85<300) GOTOF EEEZ
N4760        IF(R85>=300) GOTOF ENDEEZ
N4770              EEEZ:
N4780                G1  X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)  Y=0.2305*(R85-240)-6.763  Z=-R62+R64
C1=ACP(R85)
N4790          R85=R85+1.713
N4800          IF(R85<300) GOTOB EEEZ
N4810          IF(R85>=300) GOTOF ENDEEZ
N4820    ENDEEZ:


;R85 IZMEĐU 300 I 360 STUPNJEVA:
N4830 IF(R85>=300) GOTOF FFZ
N4840    FFZ:
N4850         IF(R85<=360) GOTOF FFFZ
N4860              FFFZ:
N4870               G1  X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)  Y=-0.229*(R85-240)+20.771  Z=-R62+R64
C1=ACP(R85)
N4880          R85=R85+1.713
N4890          R86=R85 DIV 360
N4900          IF(R86>0)
N4910          R85=R85-360
N4920          ELSE
N4930          R85=R85
N4940          ENDIF
N4950          IF(R85>=300) GOTOB FFFZ
N4960          IF(R85<300) GOTOF ENDFFZ
N4970    ENDFFZ:


;R85 IZMEĐU 0 I 60 STUPNJEVA
N4980 IF(R85>=0) GOTOF AAZZ
```

```
N4990    AAZZ:
N5000          IF(R85<60) GOTOF AAAZZ
N5010          IF(R85>=60) GOTOF ENDAAZZ
N5020         AAAZZ:
N5030                    G1  X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)  Y=0.2305*R85-6.763  Z=-R62+R64
C1=ACP(R85)
N5040           R85=R85+1.713
N5050           IF(R85<60) GOTOB AAAZZ
N5060           IF(R85>=60) GOTOF ENDAAZZ
N5070    ENDAAZZ:


;R85 IZMEĐU 60 I 120 STUPNJEVA
N5080 IF(R85>=60) GOTOF BBZZ
N5090    BBZZ:
N5100          IF(R85<120) GOTOF BBBZZ
N5110             IF(R85>=120) GOTOF ENDBBZZ
N5120               BBBZZ:
N5130                    G1  X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)  Y=-0.229*R85+20.771  Z=-R62+R64
C1=ACP(R85)
N5140           R85=R85+1.713
N5150           IF(R85<120) GOTOB BBBZZ
N5160           IF(R85>=120) GOTOF ENDBBZZ
N5170    ENDBBZZ:


;R85 IZMEĐU 120 I 180 STUPNJEVA
N5180 IF(R85>=120) GOTOF CCZZ
N5190    CCZZ:
N5200          IF(R85<180) GOTOF CCCZZ
N5210             IF(R85>=180) GOTOF ENDCCZZ
N5220               CCCZZ:
N5230                 G1  X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)  Y=0.2305*(R85-120)-6.763  Z=-R62+R64
C1=ACP(R85)
```

```
N5240          R85=R85+1.713
N5250          IF(R85<180) GOTOB CCCZZ
N5260          IF(R85>=180) GOTOF ENDCCZZ
N5270    ENDCCZZ:


;R85 IZMEĐU 180 I 240 STUPNJEVA:
N5280 IF(R85>=180) GOTOF DDZZ
N5290   DDZZ:
N5300        IF(R85<240) GOTOF DDDZZ
N5310           IF(R85>=240) GOTOF ENDDDZ
N5320              DDDZZ:
N5330               G1  X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)  Y=-0.229*(R85-120)+20.771  Z=-R62+R64
C1=ACP(R85)
N5340          R85=R85+1.713
N5350          IF(R85<240) GOTOB DDDZZ
N5360          IF(R85>=240) GOTOF ENDDDZZ
N5370   ENDDDZZ:


;R85 IZMEĐU 240 I 300 STUPNJEVA
N5380 IF(R85>=240) GOTOF EEZZ
N5390    EEZZ:
N5400     IF(R85<300) GOTOF EEEZZ
N5410        IF(R85>=300) GOTOF ENDEEEZZ
N5420              EEEZZ:
N5430                G1  X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3)  Y=0.2305*(R85-240)-6.763  Z=-R62+R64
C1=ACP(R85)
N5440          R85=R85+1.713
N5450          IF(R85<300) GOTOB EEEZZ
N5460          IF(R85>=300) GOTOF ENDEEZZ
N5470    ENDEEZZ:

;R85 IZMEĐU 300 I 360 STUPNJEVA:
```

```
N5480 IF(R85>=300) GOTOF FFZZ
N5490    FFZZ:
N5500          IF(R85<=360) GOTOF FFFZZ
N5510                FFFZZ:
N5520                G1 X=(R56/2)-R57*SIN(R85*3) Y=-0.229*(R85-240)+20.771 Z=-R62+R64
C1=ACP(R85)
N5530          R85=R85+1.713
N5540          R86=R85 DIV 360
N5550          IF(R86>0)
N5560          R85=R85-360
N5570          ELSE
N5580          R85=R85
N5590          ENDIF
N5600          IF(R85>=300) GOTOB FFFZZ
N5610          IF(R85<300) GOTOF ENDFFZZ
N5620    ENDFFZZ:

;IZLAZ
N5630 G1 X=R58
N5640 G0 Z=30

N5650 M9
N5660 G4 F3
N5670 DIAMOF
N5680 G0 G53 X325 Y0 D0
N5690 C_AXIS_OF
N5700 TRANS
N5710 TRAFOOF
;end
N5720 M17
```